Aus der Abteilung für Zahnerhaltung
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. Dr. P. Riethe
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Tübingen

Untersuchung einer aluminiumkomplex- und aluminiumlactathaltigen Pasta zur Behandlung hyperalgetischer Zahnhälse mit einem Pulpentestgerät

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
HENDRA MARGANDA MARSIDI
aus Jakarta
(Indonesien)

1981

Aus der Abteilung für Zahnerhaltung
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. Dr. P. Riethe
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Tübingen

Untersuchung einer aluminiumkomplex- und aluminiumlactathaltigen Pasta zur Behandlung hyperalgetischer Zahnhälse mit einem Pulpentestgerät

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
HENDRA MARGANDA MARSIDI
aus Jakarta
(Indonesien)

1981

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan:	Professor Dr. med. G. Rassner
1. Berichterstatter:	Professor Dr. med. dent., Dr. rer. nat. P. Riethe
2. Berichterstatter:	Professor Dr. med. dent. E. Körber

Druck: Zeeb-Druck, Tübingen 7 (Hagelloch)

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1.	EINLEITUNG	1
2.	PROBLEMSTELLUNG DER ELEKTRISCHEN PULPENPRÜFMETHODEN	4
3.	DAS DIGILOG PULPENTESTGERÄT	7
3.1.	Kurze Beschreibung	7
3.2.	Laboruntersuchung	8
3.3.	Klinische Untersuchung	11
4.	REIZLEITUNGSTHEORIEN	13
4.1.	Freie Nervendigungen als Schmerzempfänger	13
4.2.	Odontoblast als Rezeptorzelle	14
4.3.	Hydrodynamische Theorie	15
5.	DER FREILIEGENDE ZAHNHALS	18
5.1.	Allgemeines	18
5.2.	Ätiologie	22
5.2.1.	Parodontium	22
5.2.2.	Zahn	23
5.2.3.	Exogene Faktoren	24
5.2.4.	Spezielle Aspekte zur Schmerzentstehung	25
6.	DIE BEHANDLUNG HYPERALGETISCHER ZAHNHÄLSE MITTELS EINER ALUMINIUMFLUORIDKOMPLEX- UND ALUMINIUMLACTATHALTIGEN ZAHNPASTA	27
6.1.	Material und Methode	27
6.2.	Ergebnisse	29
6.3.	Graphische Darstellung der Messwerte	30
6.4.	Diskussion	38
7.	ZUSAMMENFASSUNG	40
8.	LITERATURVERZEICHNIS	41

1. EINLEITUNG

Die Diagnostik der Pulpa mittels elektrischer Stromreize wurde schon etwa Anfang des 20. Jahrhunderts entdeckt und weiterentwickelt. Die Sensibilitätsprüfung, in der Literatur auch fälschlicherweise Vitalitätsprüfung genannt, beruht auf der elektrischen Reizbarkeit der sensiblen Nervenfasern in der Pulpa.

Zuerst fanden noch vorwiegend die galvanischen und faradischen Ströme Verwendung (Hafner 1902, Fuijt 1902, Witthaus 1902, Schroeder 1905), die Nachteile dieser Stromarten wurden aber schon bald erkannt.
So ist bei den galvanischen Strömen mit ihren Spannungen bis zu 100 V die Gefahr eines elektrischen Schlages trotz ausreichender Massnahmen zur Isolierung der Geräte nicht auszuschliessen.
Es kann vorkommen, dass der Zahnarzt mit der Elektrode abrutscht oder ein Kurzschluss entsteht, indem man geerdete Installationen berührt, was unangenehme Folgen sowohl für den Patienten als auch für den Zahnarzt haben kann.
Ein weiteres ungünstiges Phänomen bei den galvanischen Strömen ist das sogenannte Einschleichen. Es führt zu überhohten Spannungen und erhöht damit die Gefahr eines elektrischen Schlages.
Bei den faradischen Strömen, die aus Induktionsströmen mit dem Wagnerschen Hammer oder anderen Hilfsgeräten gewonnen wurden, bestand diese Gefahr nicht. Da sie keine konstante Frequenz und Spannungsspitzen liefern, ist eine exakte Prüfung nicht möglich (Wolf 1927, Borschke und Wolf 1929, Kerpel 1933, Björn 1946, Saxer 1958).
Im Jahre 1929 entwickelten Borschke und Wolf ein Gerät, das mit sogenannten Arsonvalströmen betrieben wurde. Es handelt sich dabei um hochfrequente Wechselströme mit hoher Spannung, die aus vielen stark gedämpften, von relativ langen Pausen getrennten Schwingungsgruppen bestehen. Die elektrischen Reize wurden mittels einer Vakuum- oder einer Kondensatorelektrode auf den Zahn übertragen. Sie fanden heraus, dass diese Stromart ausschliesslich die Pulpa reizt ohne jede Beteiligung des Periosts. Ausserdem konnte der wechselnde Zahnwiderstand durch Kondensatorwirkung des Zahnes einfach übersprungen werden.

Andere Autoren weisen jedoch auf folgende Mängel hin:
dem Skin-effekt folgend, eine Eigenschaft des Hochfrequenzstromes, fliesst der Strom bevorzugt auf der Leiteroberfläche. Dies führt zu einer ungünstigen Stromverteilung im Zahn. Bei Frequenzen von über dreihundert Hertz geht die Reizwirkung in Joulesche Wärme über. Die benötigten sehr hohen Spannungen (einige Tausend Volt) sind nicht ungefährlich und können Gleitfunken erzeugen (Björn 1946, Saxer 1958).

V. Werz und Weber haben 1933 die Chronaxiemessung als Messeinheit eingeführt. Grundlage dieser Messungen ist die Rheobase nach Lapicque, die die minimale Stromstärke darstellt, die benötigt wird um eine Erregung eines bestimmten Nerven hervorzurufen. Die Chronaxie ist die Nutzzeit, die eine Stromstärke von doppelter Rheobase haben muß, um den gleichen Nerven zu erregen (Abb. 1).
Weber glaubte über die Chronaxie einen Aufschluss über den pathologischen bzw. physiologischen Zustand der Pulpa erhalten zu können.

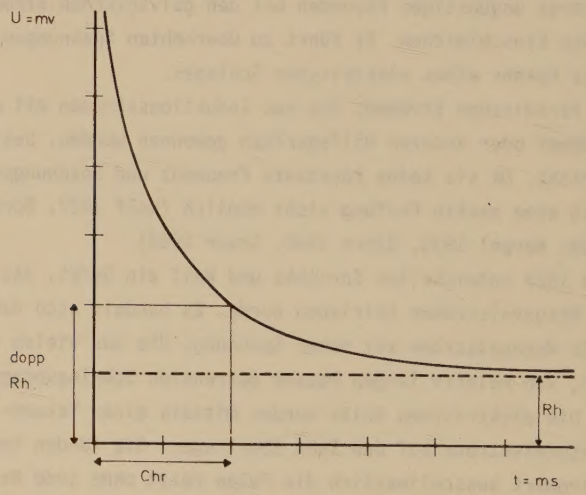


Abb. 1: Reizzeit - Spannungskurve (Rh : Rheobase / Chr : Chronaxie)

Birkenhauer (1950) hat anstelle der Chronaxiemessung die Reizzeitstromkurve vorgeschlagen. Beide Verfahren haben jedoch wegen ihrer Kompliziertheit für die praktische Nutzanwendung keine Verbreitung gefunden.

Heutzutage werden die meisten Pulpentestgeräte mit niederfrequentem Wechselstrom oder niederfrequentem pulsierendem Gleichstrom betrieben.

Obwohl die Sensibilitätsprüfung mit Kältemitteln (Kohlesäureschnee, Frigen) in der Praxis wegen ihrer Zuverlässigkeit hinsichtlich der Diagnostik der Vitalität bevorzugt wird (Saxer 1958, Fuhr und Scherer 1968, Heppe 1971, Fischer 1973, Mayer und Heppe 1974, Sauerwein 1976), eignet sich die elektrische Reizmethode als quantifizierbare Untersuchungsmethode zur Ermittlung gradueller Sensibilitätsänderungen der Pulpa geradezu hervorragend.
Die elektrischen Reize sind: genau dosierbar
leicht messbar
reproduzierbar
beliebig oft ohne Gewebsschädigung anwendbar (Tschamer und Mühlemann 1956, Braunsdorf 1959, Geffert 1959, Block und Riethe 1962).

Pöllmann hat 1974 die Kältereiznutzzeit als Alternative zur quantifizierbaren elektrischen Reizmethode vorgeschlagen. Bei Messung der Tagesschwankung der Reizschwelle an Zähnen hat er mit beiden Methoden ähnliche Ergebnisse erhalten (Pöllmann 1974, 1980).

Es wird immer noch versucht anhand von elektrometrischen Proben ungefähre Diagnosen über den Grad einer Pulpitis oder andere pathologische Veränderungen der Pulpa zu gewinnen, indem Veränderungen der Reizschwelle oder des Widerstandes als Kriterium herangezogen werden. Diesbezüglich ist, trotz moderner Methoden, eine gewisse Zurückhaltung angebracht (Mumford und Björn 1962, Mumford 1967, Lundy und Stanley 1969, Sauerwein 1976, Constantin et al. 1976).

2. PROBLEMSTELLUNG DER ELEKTRISCHEN PULPENPROFMETHODEN

Die elektrische Sensibilitätsprüfmethode ist trotz ihrer Entwicklung und Vorteile mit Problemen behaftet sowohl naturtechnisch als auch elektrophysiologisch. Es sind unter anderem:

- Die Subjektivität des Patienten.

Die Reizschwelle schwankt je nach Stimmunglage des Patienten. Angst, Ungeduld, Stress und übermässige Erwartung erniedrigt, Ablenkung und Gleichgültigkeit erhöht die Reizschwelle (Kerpel 1933, Geffert 1959). Auch die körperliche Verfassung spielt eine Rolle.

- Die Tageszeit.

Pöllmann hat bei seinen Messungen herausgefunden, dass die Reizschwelle des Zahnes mit dem Tagesablauf rythmisch schwankt. Die höchste Reizschwelle befindet sich um 15 Uhr, die niedrigste um 0 Uhr.

- Reizwellenform.

Die Spannungsspitze der elektrischen Impulse sollen in möglichst kurzer Zeit erreicht werden, da dann die Gefahr des Einschleichens am geringsten ist (Borschke und Wolf 1929, Björn 1946).

- Polarität.

Bei monopolarer Reizung mit einer indifferenten Elektrode erweist sich die katodische Reizung als überlegen, da sie niedrigere Reizschwellen hat und zuverlässigere Ergebnisse liefert als die anodische. Noch zuverlässiger ist die bipolare Reizung mit zwei Elektroden. Die Anbringung bringt jedoch einige Schwierigkeiten mit sich, sodass die kathodische Reizung zur Zeit den Kompromiss der Wahl darstellt (Mumford und Björn 1962, Greenwood et al. 1972, Matthews 1974).

- Die Frequenz.

Man kann die verschiedenen Nervenfasern in Abhängigkeit von der Frequenz selektiv reizen (Björn 1946, Lullies 1975), über die optimale Reizfrequenz im Zahn ist man sich z. Zt. noch nicht einig. Nicht nur die minimale Reizschwelle wird angestrebt, eine Erregung der parodontalen Nervenfaser sollte möglichst auch ausgeschlossen sein (Borschke und Wolf 1929, Ziskin und Wald 1938, Farrell 1958, Ziskin und Zegarelli 1945, Hauschild 1971).

- Vermeidung unspezifischer Reize im Parodontium.
Schon 1929 haben Borschke und Wolf dieses Problem erörtert und meinten, es mit Arsonvalströmen ausschalten zu können. Ziskin und Wald geben an, dass bei Frequenzen zwischen 1000 und 5000 Hertz die pulpale und parodontale Reizschwelle am meisten auseinander liegen. Einige andere Autoren behaupten, dass die parodontale Reizschwelle ungefähr 5 bis 6 mal höher ist als die pulpale (250 mA gegenüber 50 mA, Björn 1946, Stiegler 1954, Langegger 1954).
Bei der Kathodenreizung kann die vermeintliche Überlappung vermieden werden, die bipolare Reizung schliesst sie sogar aus (Greenwood et al. 1972, Matthews et al. 1974).
- Der wechselnde elektrische Zahnwiderstand.
Der Zahnwiderstand kann sehr stark schwanken und ist abhängig von der Schmelzdicke, Dentindicke und Mineralisationsgrad. Der spezifische Widerstand von Dentin bewegt sich in der Grössenordnung von 10^5 bis 10^6 Ohm, je nach dem wie die Dentinkanälchen verlaufen. Der Schmelzwiderstand liegt etwa eine Zehnerpotenz höher, was sich mit dem geringeren Anteil an organischen und wasserhaltigen Substanzen erklären lässt (Ziskin und Wald 1938, Björn 1946, Farrell 1958, Godt und v. Bredow 1967, Mumford (a) 1967).
- Der Kontaktwiderstand zwischen Elektrode und Zahnoberfläche.
Eine trockene Elektrode hat an der Kontaktfläche am Zahn einen sehr hohen Übergangswiderstand. Dies erklärt sich aus der Rauhigkeit der Zahnoberfläche, die einen innigen Kontakt mit der Elektrode nicht zulässt. Das Befeuchten der Elektrodenspitze mit Elektrolytflüssigkeit überwindet diesen Widerstand, die Flüssigkeit fliesst aber zur Gingiva ab und stellt zu dieser eine elektrischleitende Verbindung her.
Heutzutage kann dieses Problem mit Hilfe von verschiedenen hochviskösen Kontaktpasten gut gelöst werden (Björn 1946, Farrell 1958, Müller 1958, Martin et al. 1969, Millard 1973, Grayson 1977).
- Versorgung der Zähne.
Grosse Amalgam- und Goldfüllungen sowie grosse Kavitäten können die Prüfungsergebnisse verfälschen, da sie den Strom über einen kürzeren Weg in die Gingiva ableiten (Mumford und Björn 1962). Kronen und Brükken aus Gold oder Porzellan machen die elektrische Prüfung unmöglich.

- Die Grösse der Elektrodenkontaktfläche.
Die Reizschwelle ist abhängig von der Stromdichte im Zahn, diese ist wiederum zumindest im Schmelz und Dentin eine Funktion der Kontaktfläche. Das heisst, um die gleiche Stromdichte zu erzielen, benötigt man bei grösseren Kontaktflächen entsprechend grössere Stromstärken (Mumford und Björn 1962).
Die Lage der sogenannten Zone of Excitation, wo die Nervenfasern gereizt werden, bleibt jedoch unklar. Einige Autoren behaupten, dass die Nerven bereits in den Dentintubuli gereizt werden (Björn 1946), andere dagegen glauben, dass die Reizung an der Pulpodentinal Junction erfolgt oder am Foramen apicale (Mumford und Newton 1969).
Ob eine stetige Beziehung zwischen der Reizschwelle und der Grösse der Elektrodenkontaktfläche besteht, ist nicht nachweisbar (Matthews et al. 1974). Matthews begründet diese mit den verschiedenen Lagen der Reizorte (Zone of Excitation).
- Stromstärke- oder Spannungsmessung.
Die Stromstärkemessung hat den Vorteil, dass man den wechselnden Zahnwiderstand nicht zu berücksichtigen braucht. Ausserdem verhält sich lebendes Gewebe nicht immer wie ein Ohmscher Widerstand (Lullies 1975). Zur Eliminierung dieses wechselnden Widerstandes werden Geräte entwikkelt, die mit einer sogenannten Constant-Current arbeiten. Der innere Widerstand solcher Geräte wird so gross ausgelegt, dass der Zahnwiderstand vernachlässigt werden kann oder eine Regelelektronik sorgt dafür, dass die Stromstärke bei gleicher Schalterstellung konstant bleibt (Müller 1958, Saxer 1958, Matthews und Searle 1973). Allerdings halten viele Geräte nicht, was sie versprechen (Matthews und Searle 1973).
- Noch eine wichtige Voraussetzung ist, dass das Gehirn einwandfrei funktioniert und eine Störung der Nervenleitungsbahnen (z.B. durch Zystendruck, Entzündungen, Geschwülste, Operationen) ausgeschlossen werden kann (Björn 1946).

3. DAS DIGILOG PULPENTESTGERÄT

3.1. Kurze Beschreibung

Das Digilog hat ein zylindrisches Metallgehäuse, ist 14,6 cm lang und hat einen Durchmesser von 1,9 cm. Die auswechselbare Elektrode ist bis 2 mm von der Spitze vollisoliert und lässt sich in Autoklav oder kalt sterilisieren.
Als Kraftquelle dient eine Mallory TR 165 Batterie mit 7,00 Volt Spannung. Es gibt neuerdings auch eine Ausführung mit aufladbarer NC Batterie (Digilog R3). Das Gerät lässt sich wie ein Kugelschreiber halten, wobei die andere Hand kontakt mit der Mundschleimhaut aufnimmt. Auf dem Bedienungsfeld findet man ein Einstellrad mit Skala von 0 - 10, das man bequem mit dem Zeigefinger bedienen kann, einen Ein/Aus-Knopf und eine LED Anzeige (Light Emitting Diode, Leuchtdiode). Der Ein/Aus-Knopf wird ebenfalls mit dem Zeigefinger betätigt, beim Loslassen des Knopfes wird zum Schutz der Batterie die Stromzufuhr automatisch unterbrochen. Bei eingedrücktem Knopf leuchtet die LED Anzeige als ein Zeichen, dass das Gerät betriebsbereit und eingeschaltet ist. Die LED dient gleichzeitig zur Überwachung des Batterieladezustandes.
Zur genaueren Diagnostik werden sogenannte Contact Pads mitgeliefert, selbstklebende runde Folien, die eine kalibrierte zentrale Öffnung von 1,87 mm^2 haben. Die Zähne werden mit Watterollen und Luft trockengelegt, die Contact Pads auf die labiale bzw. buccale Fläche aufgeklebt, auf die Elektrodenspitze wird etwas Kontaktpaste (Demetron Conductive Dental Electrode Gel) aufgetragen, die Elektrode an die Öffnung des Contact Pads gehalten. Dann wird das Einstellrad beginnend bei 0 um je einen halben Skalenteil schrittweise hochgedreht. Nach jeder Einstellung wird der Ein/Aus-Knopf gedrückt.
Das Erreichen der Reizschwelle gibt der Patient an, indem er die Hand hebt oder sich akustisch äussert.

3.2. Laboruntersuchung

Das Digilog arbeitet mit niederfrequenten pulsierenden Gleichstromreizen. Dem negativen Hub folgt eine exponentielle Zurückstellung auf 0. Die gesamte Impulsdauer beträgt 2 ms., somit hat das Digilog eine Frequenz von 500 Hertz. Der Spannungshub ist eine Funktion der Schalterstellung des Digilogs.

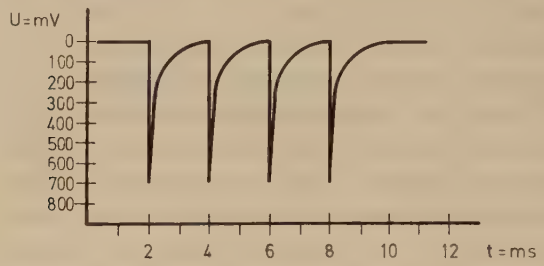


Abb. 2

Bei der Messung der Ausgangsspannung haben wir die messende Person belassen und den Probanden durch einen Ohmschen Widerstand ersetzt, da diesem Spannungen über den gesamten Skalenbereich nicht zumutbar ist. Der Widerstand (20 kΩ) wurde so gewählt, dass sich bei gleicher Schalterstellung am Digilog die gleichen Ausschläge am Oszilloskop ergaben. Als Bezugszähne wurden Prämolaren genommen. Uns ging es in erster Linie um die Charakteristik des Spannungsverlaufes, der auf den Zahn wirkt. Die niedrigen Voltzahlen erklären sich aus dem Spannungsabfall von der messenden Person und dem Ersatzwiderstand.

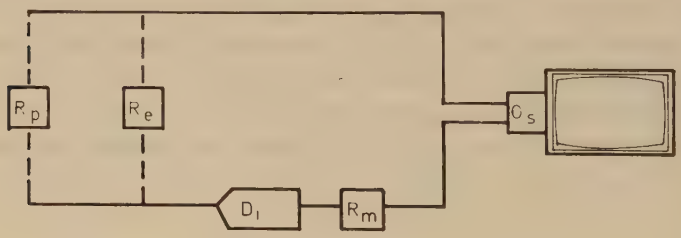


Abb. 3: Schaltplan (R_e = Ersatzwiderstand; R_p = Widerstand Proband; O_s = Oszillograph; D_i = Digilog; R_m = Widerstand der messenden Person).

Abb. 4: Das Digilog Pulpentestgerät.

Die ganzzahlige Skaleneinteilung wurde zwecks feinerer Abstufung halbiert. Unterhalb Schalterstellung 1,0 zeigt das Oszilloskop so gut wie keine Spannung an, zwischen 1,0 und 2,5 steigt die Spannung linear an und zwischen 2,5 und 7,5 nahezu logarithmisch an. Ab Schalterstellung 7,5 ist keine Steigerung mehr messbar. Der Kurvenverlauf stimmt mit den Angaben des Herstellers bis auf einige Abweichungen im oberen und unteren Skalenbereich überein (Abb. 5).

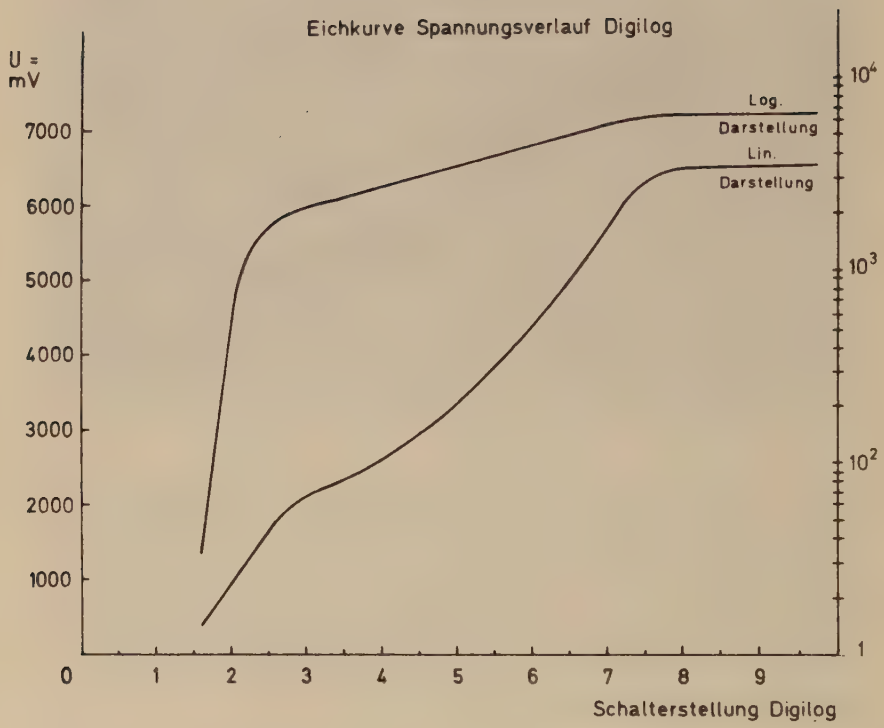


Abb. 5: Eichkurve Spannungsverlauf Digilog

3.3. Klinische Untersuchung

Wir haben das Digilog zur Sensibilitätsmessung von Schmelz im cervicalen Drittel und Dentin bzw. Zement freiliegender Zahnhälse bei 294 gesunden Front- und Backenzähnen von 47 Probanden angewandt. Keiner der Zähne war überkront oder hatte eine übermässig grosse Füllung oder Karies.
Die Probanden standen vor einem Versuch mit einer desensibilisierenden Zahnpasta. Die jetzt erhaltenen Werte gelten zugleich als Anfangswerte für den eigentlichen Versuch (siehe 6.1.).

Die Zähne werden mit Watterollen sorgfältig getrocknet und das Digilog wird in der vorher beschriebenen Weise angewendet. Die Benutzung von den Contact Pads ist wegen der engen topographischen Beziehung zur Gingiva nicht möglich. Es wurde jedoch streng darauf geachtet, dass kein Elektrodengel mit der Gingiva in Berührung kommt.
Das Digilog gibt bei Betätigung des Gerätes einen sehr leisen, kaum wahrnehmbaren Pfeifton von sich. Er ist dennoch in sehr ruhigen Räumen hörbar und wird von uns als störend empfunden in Betracht auf manche Reaktionen der Patienten. Manche Patienten sind so auf den Pfeifton fixiert, dass sie schon auf diesen und nicht erst auf einen elektrischen Reiz reagieren.
Bei Erreichen der Reizschwelle geben die meisten Patienten ein leichtes Prickeln oder Elektrisieren an (pre-pain Sensation?, Mumford 1965, Greenwood et al. 1972). Beim Erhöhen des Reizwertes um ca. einen Skalenteil geht das Prickeln in eine Schmerzempfindung über.
Einige Probanden merken zunächst nichts und bekommen bei der nächsten Stufe, die einen halben Skalenteil höher ist, sofort einen Schmerzschock trotz vorsichtigen Vorgehens unsererseits.
Umgekehrt konnte auch festgestellt werden, dass manche Zähne im Schmelz überhaupt nicht reagierten, obwohl wir schon am Skalenende angekommen waren. Die Zähne sind eindeutig vital, da bei Messungen am Zement bei freiliegenden Zahnhälsen derselben Zähne normale Reaktionen eintraten.

Bemerkenswert ist die Tatsache, dass wir hochempfindliche Zahnhälse,

die sich die Probanden nur mit sehr grossen Vorbehalten berühren liessen, zu messen vermochten, ohne auch entsprechend niedere elektrische Reizwerte zu erhalten. Auch die Zahl der Probanden hat sich dadurch nicht verringert. Wichtig ist ein vorsichtiges Vorgehen, die Elektrode darf auf keinen Fall auf den Zahn "rutschen".

Der Durchschnittswert von gesundem Schmelz beträgt nach unseren Messungen 4,4 Skalenteile, was ungefähr mit Untersuchungen von Grayson übereinstimmt. Die Werte für empfindliche, freiliegende Zahnhälse kommen kaum über 2,5, der Mittelwert beträgt 1,8.

4. REIZLEITUNGSTHEORIEN

4.1. Freie Nervenendigungen als Schmerzempfänger

Die Hypothese, Schmerzempfindungen würden im Dentin wie in der Haut an freien Nervendigungen ausgelöst, regte zahllose Wissenschaftler zur Suche nach intradentinalen Nerven an. Die Existenz solcher Fasern darf, was das pulpennahe Dentin betrifft, als gesichert gelten. Spezielle Endapparate sind, obwohl immer wieder beschrieben, histologisch nicht eindeutig nachweisbar und auch nicht zu erwarten, da im Zahn eindeutig nur die Qualität Schmerz empfunden wird.

Folgende Beobachtungen jedoch widersprechen dieser Theorie:

- Weder Lokalanästhetika noch sonst schmerzerzeugende Substanzen tun, werden sie aufs Dentin appliziert, ihre gewohnte Wirkung. Das mag aber zum Teil daran liegen, dass sie nicht bis zu den Nervendigungen vordiffundieren können (Brännström 1966, Dellow und Roberts 1966, Brännström und Aström 1972, Anderson 1975, Anderson und Matthews 1976).

- Frisch durchgebrochene Zähne und Milchzähne sind auch ohne deutlichen Raschkowschen Plexus und ohne intradentinale Fasern sensibel.

- Die Schmelz-Dentingrenze ist ein überaus sensibles, aber nervfreies Gebiet. Schmelzspindeln sollen einen allerdings unklaren Beitrag zur Hyperalgesie dieser Zone leisten (Susi 1978).

- Die Nerven sind selbst im pulpalen Dentin dünn gesät (Toyoda 1934, Gaunt et al. 1967, Brännström und Aström 1972, Langeland und Yagi 1972, Susi 1978).

- Auch eine sehr dürftig innervierte Dentinnarbe kann normal sensibel sein (Masterton 1967).

4.2. Odontoblast als Rezeptorzelle

Die Theorie, der Odontoblast nehme die Funktion einer übermittelnden Rezeptorzelle zwischen äusserem Reiz und Nerv wahr, hat sich zu einem harmonischen Gebilde entwickelt.

- Der Odontoblast soll, was umstritten bleibt, ektodermalen Ursprungs sein.

- Basal ist der Odontoblast in der Nähe seines Golgiapparates wie andere Sinneszellen mit Zilien besetzt, was aber auch eine rudimentäre Erscheinung sein kann (Eifinger 1970, Magloire et al. 1978).

- Odontoblast und Nervfaser stehen in synaptischem Kontakt.

- Er weißt entsprechendes Membranpotential und elektrophysiologisches Reagieren auf (Magloire et al. 1978).

- Der Tomessche Fortsatz erreicht zwar nur etwa ein Viertel des Dentindurchmessers, doch kann ein intratubulärer Flüssigkeitsstrom als Reizvermittler dienen und zugleich die Hyperalgesie der Schmelz-Dentingrenze mit Summationseffekten in den konfluierenden Tubuluslumina und den Hohlräumen von Tomesscher Körnerschicht und Interglobulärdentin erklären (Gaunt et al. 1967, Eifinger 1970, Stockinger und Pritz 1970, Magloire et al. 1978, Orban 1980).

- Die Wirkungslosigkeit von Lokalanästhetika und algogenen Substanzen sowie die Sensibilität eben durchgebrochener Zähne findet eine neue Erklärung.

Schwer jedoch in diese Überlegungen einzubauen sind die Tatsachen, daß
- Dentin anscheinend auch dann sensibel bleibt, wenn die darunterliegende Pulpa nekrotisch geworden oder im Sinne einer Hämorrhagie verändert ist, die Odontoblasten jedenfalls nicht mehr intakt sind (Brännström 1966),
- eiweissfällende Agentien wie Silbernitrat die Dentinsensibilität kaum zu beeinflussen scheinen (Gaunt et al. 1967, Anderson und Matthews 1976).

4.3. Hydrodynamische Theorie

Diese Theorie geht auf Brännström zurück und wird heute weitgehend akzeptiert. Sie beruht auf folgenden Vorstellungen:

In den flüssigkeitsgefüllten Tubuliabschnitten findet ein meist depulpaler Flüssigkeitsstrom mit maximal 2 bis 4 mm sec^{-2} statt. Dieser bewirkt eine Deformation der Tomesschen Fortsätze sowie der Nervfasern in Tubuli und Pulpa, welche somit direkt oder indirekt mechanisch stimuliert werden: es tut weh.
Eine oft beobachtete Aspiration von Odontoblastenkörpern in die Tubuli hinein ist nicht Voraussetzung für eine Schmerzreaktion.
Ein Tubulus wirkt als Kapillare. Wird an dessen Öffnung Flüssigkeit entfernt, setzt sofort ein Nachströmen von der Pulpa her ein, von dem dort herrschenden Überdruck von 40 mm Hg unterstützt.

Für eine Vielzahl von Stimuli wurde die direkte Korrelation fluid flow-Schmerzreaktion bewiesen:
Luftbläserstoss, Kälte, Hitze, Sondenberührung, Bohren und Meiseln, Evaporation und Trocknen mit Löschpapier, Applikation dehydrierender Lösungen oder bestimmter Füllungsmaterialien (Cavit).
Die Wirkung dehydrierender Lösungen ist, da die Dentinoberfläche keine ideale semipermeable Membran bildet, weniger auf direkte osmotische Phänomene zurückzuführen als auf die spezielle Konzentration, Grösse, Form und Ladung der gelösten Partikel sowie die Fähigkeit der Lösung, unter den herrschenden Bedingungen Kapillarkräfte zu aktivieren (Brännström 1963, 1966, Horiuchi und Matthews 1973, Anderson und Matthews 1976, Matthews 1976, Brännström und Johnson 1978).

- Die Unwirksamkeit von Lokalanästhetika, Silbernitrat und algogenen Substanzen (Kaliumchlorid, Histamin, Serotonin, Acetylcholin, Bradykinin, 5-Hydroxytryptamin) ist einleuchtend (Brännström 1966, Dellow und Roberts 1966, Brännström und Aström 1972, Anderson 1975, Anderson und Matthews 1976).

- Der Odontoblast darf mesenchymaler Herkunft bleiben und unter sensiblem Dentin eine Nekrose vorliegen (Brännström 1966).

- Mit zunehmendem freiliegendem Tubulusdurchmesser wächst die Sensibilität, und eine trockene, geschliffene Oberfläche ist weit weniger sensibel als eine nasse (Johnson und Brännström 1974).

- Auch eine Dentinnarbe kann sensibel sein.

- Die Schmelz-Dentingrenze ist wegen des vergrösserten Tubuligesamtlumens hyperalgetisch (Gaunt et al. 1967).

- Der Grossteil der Dentinflüssigkeit befindet sich in den Tubuli und nicht in der Matrix (Brännström und Garberoglio 1972).

Missverständnisse in der fluid flow-Schmerz-Korrelation mancher Lösungen weisen jedoch darauf hin, dass ausser hydrodynamischen auch chemische oder andere Mechanismen an der Schmerzentstehung beteiligt sein müssen (Horiuchi und Matthews 1973, Anderson und Matthews 1976, Matthews 1976).

Den Modus der Nerverregung versucht man sich so vorzustellen:

- Nervenden dienen als Mechanorazeptoren für fluid movement, Deformation des Odontoblasten oder intrapulpale Drucksteigerung (Brännström 1966, Roane et al. 1973, Brännström und Johnson 1978).

- An den Kollagenanteil der Zahnhartsubstanz gebundene piezoelektrische Effekte erregen die langen, frei im Dentin verlaufenden Axone, denen die Dentinmatrix als Ersatz für eine Schwannsche Zelle dient (Athenstaedt und Petersen 1967, Liboff und Shamos 1971, Roane et al. 1973).
  Piezoelektrische Effekte könnten von Schmelspindeln, Interglobulardentin und die Tomesscher Körnerschicht wegen deren hohem Kollagenanteil verstärkt werden, was die Hyperalgesie von Schmelz-Dentingrenze und Zahnhälsen fördern würde (siehe 5.2.2.).

- Potentiale, die in den Tubuli nach der Gleichung von Helmholtz & Smoluchowsky für Flüssigkeitsbewegungen in Kapillaren entstehen könn-

ten, sollen Nervenden erregen (Mumford und Newton 1969). Wahrscheinlich sind sie jedoch zu klein (Horiuchi und Matthews 1973).

Letzgenannte Theorien stehen nicht in direktem Zusammenhang mit der hydrodynamischen Theorie, können jedoch zur Entstehung von Schmerzphänomenen ebenso beitragen, genauso wie eine Beteiligung der Odontoblasten und eine direkte Stimulierung von Nervenden noch nicht völlig abzuweisen sind.

5. DER FREILIEGENDE ZAHNHALS

5.1. Allgemeines

Die Hypersensibilität des freiliegenden Zahnhalses galt schon lange als ein grosses Problem in der Zahnheilkunde.
Die Vielfalt der Behandlungsmethoden und Medikamente weist darauf hin, dass die Therapie der Wahl noch immer nicht gefunden wurde. Die Schmerzauslösung am freiliegenden Zahnhals kann auf verschiedene Weise erfolgen:

- mechanisch: Zahnbürste, Prothesenklammer, zahnärztliche Instrumente.
- chemisch : saure und süsse Speisen, Fruchtsäfte.
- thermisch : Wärme und Kälte, Luftstrom (Everett et al. 1966, Levin et al. 1973, siehe 4.).

Pathohistologisch konnte lediglich festgestellt werden, dass die Überempfindlichkeit meistens mit einer Gefässerweiterung in Verbindung steht, die auch umschrieben und klein sein kann (Ketterl 1965, Schwartz 1966, Anderson 1975).
Die Bildung von Reiz- bzw. Sekundärdentin, die für eine Anpassungsmöglichkeit gehalten wurde, zeigt bei normalen und überempfindlichen Zähnen keinen Unterschied (Ketterl 1965). Im Zahnhalsbereich findet man bei etwa 10 % der Zähne eine schmelz- und zementfreie Dentinzone, bei 60 % überlappen sich Schmelz- und Zementschichten und bei 30 % grenzen die Schichten aneinander (Ketterl 1965, Everett et al. 1966, Schroeder 1976). Das Zement im koronalen Drittel besteht aus azellulär-fibrillärem Zement, das mehr verkalkt ist als das übrige zellulär-fibrilläre, aber noch immer viel weicher ist (39 KHN) als Zahnstein (86 KHN) oder normales Dentin (69 KHN = Knoop Hardness Number, Rautiola et al. 1961, Schroeder 1976).
Diese Zementschicht hat eine Dicke von 20 bis 50 um (Rautiola et al. 1961, Everett 1966) und wird bei der Zahnreinigung (root plaining, Ultraschall) oder durch abrasives Zähneputzen fast immer entfernt. So liegen jetzt Dentinflächen frei, die hochempfindlich sein können.
Das azellulär-fibrilläre Zement wird, wenn es den Kontakt mit dem Desmodont verloren hat, nicht mehr gebildet (Schroeder 1976).

Grossman hat 1935 einige Forderungen an ein ideales desensibilisierendes Mittel gestellt:
- es darf die Pulpa nicht irritieren oder gefährden,
- es soll relativ schmerzlos sein bei oder nach der Applikation,
- es sollte einfach zu applizieren sein,
- es sollte schnell und nachhaltig wirken,
- es darf keine Verfärbungen hervorrufen.

Die verschiedenen Mittel, z.B. Fluoride, Jod, Silber- und Kaliumnitrat, Strontiumchlorid, Zinkchlorid, Zinn- und Aluminiumsalze, Monofluorphosphat, Katryps (Kalium-Trypsin) und rapid-Lasul, Formalin, Paraformaldehyd, Elektrokoagulation, Elektro- bzw. Iontophorese, Gewebekleber (Zyanoakrylat), Säure Ätz Technik, Calcium- und Magnesiumhydroxid, Natriumcarbonat, Heilanästhesie, Glucocorticoide, Vit.B-, Vit.C- und Calciumstosstherapie, nur um einige zu nennen, versuchen auf verschiedenste Weise die Überempfindlichkeit zu kurieren (Grossman 1935, Lukomsky 1941, Hoyt und Bibby 1943, Everett 1964, Smith und Ash 1964, Ketterl 1965, Anderson und Matthews 1966, Everett et al. 1966, Bertolini et al. 1966, Mühlemann und Fistarol 1966, Keil und Tschamer 1966, Lawson und Huff 1966, Schwartz 1966, Blitzer 1967, Bolden et al. 1968, Hazen et al. 1968, Miller et al. 1969, Renggli 1969, Walton und Thompson 1969, Adams 1970, Shapiro et al. 1970, Schaeffer et al. 1971, Green et al. 1972, Hernandez et al. 1972, Hiatt und Johansen 1972, Levin et al. 1973, Seidner 1973, Murthy et al. 1973, Meyer 1973, Dayton et al. 1974, Schmidt und Seidel 1974, Hodosh 1974, Sall 1974, Hochstein et al. 1975, Minkov et al. 1975, Tranter und Douglas 1975, Meissler 1976, Sauerwein 1976, Lutz 1977, Simon und Hilborn 1977, Brunnhölzl 1977, Zinner et al. 1977, Stazen und Foreman 1977, Gangarosa et al. 1978, IZA 1978, Gedalia et al. 1978, Greenhill et al. 1978, Rateitschak et al. 1978, Link 1980, Riethe et al. 1980).
Die meisten Mittel haben das Ziel, die Reizleitung zu unterbrechen. Sie haben einen eiweissdenaturierenden Effekt oder verstopfen die Dentinkanälchen. Andere versuchen die Reiz- bzw. Sekundärdentinbildung anzuregen (Calciumhidroxyd) und die Remineralisation zu begünstigen (Fluoride). Einige wollen die Hyperämie in der Pulpa umstimmen (Heilanästhesie, Glucocorticoid) oder direkt die Schmerzrezeptoren beeinflussen (Vit.B.).

Die genauen Wirkungsmechanismen sind bei fast allen Mitteln jedoch weitgehend unklar, sodass über die Wirkungsweise des einzelnen Mittels mehr oder weniger nur Vermutungen angestellt werden können. Auch kombinierte Wirkungen sind nicht auszuschliessen.

Alle bis jetzt bekannte Mittel können die von Grossman gestellten Anforderungen nicht vollständig erfüllen. So ruft Silbernitrat schwarze Verfärbungen hervor und kann nur im Molarenbereich Anwendung finden. Paraformaldehyd, Formalin und die Elektrokoagulation schliessen eine Gefährdung der Pulpa nicht aus (Ketterl 1965, IZA 1978). Die stark alkalischen Mittel (Calciumhidroxyd und Natriumcarbonat) sind der Gingiva gegenüber nicht völlig indifferent (Levin et al. 1973, Riethe et al. 1980). Am meisten lässt die Dauerhaftigkeit der Wirkung zu wünschen übrig. Bei sehr vielen Präparaten ist die Wirkung schon nach einigen Tagen vorüber. Eine dauerhafte Wirkung ist, wenn überhaupt erzielbar, nur mit zeitraubender wiederholter Behandlung möglich.

Interessant ist die Tatsache, dass selektives Einschleifen in vielen Fällen die Beschwerden beheben kann (Sauerwein 1976, siehe 5.2.3.). Mit der Säure Ätz Technik versucht man neuerdings die Hypersensibilität des Zahnhalses zu behandeln, besonders wenn sie mit kariösen Läsionen oder keilförmigen Defekten verbunden sind. Die Lage zum Zahnfleisch erschwert jedoch die Trockenlegung und irregulären Schmelzprismen und Dentin im Zahnhalsbereich bieten keine feste Verankerung, sodass auch diese Füllungstechnik nicht als eine dauerhafte Lösung betrachtet werden kann, zumal die Scherkräfte die Füllung bald wieder abspringen lassen würden.
Wenn in diesem Bereich kein Defekt vorliegt, ist die adhäsive Versiegelung zu erwägen (Dayton et al. 1974, Tranter und Douglas 1975). Sie stellt jedoch, zusammen mit der Füllungstherapie, immer eine marginale Irritation dar.

Nach einem alten Rezept hatte man durch Anwendung von Meerzwiebelsaft das Zahnfleisch zum Nachwachsen anzuregen versucht (Bräuner 1725).

Die Parodontalchirurgie bietet eine andere Möglichkeit mittels Slidingflap oder freiem Schleimhauttransplantat denudierte Wurzelabschnitte zu bedecken. Weil die transplantierte Schleimhaut nicht vom Knochen unterlegt ist, scheint es sehr zweifelhaft, ob die Defektdeckung von langer Dauer bleibt (Rateitschak et al. 1978).

Eine Überkronung, wenn eine entsprechende prothetische Indikation vorliegt, kann die gewünschte Linderung bzw. Heilung bringen.

Bei den hartnäckigsten Fällen, wo die Patienten die Schmerzen kaum mehr ertragen können, bleibt leider nur noch die Möglichkeit einer Wurzelkanalbehandlung übrig.

5.2. Ätiologie

5.2.1. Parodontium

Auf seiten des Parodontiums ist nach Kausalfaktoren zu fahnden, die ein Entblössen empfindlicher Zahnflächen zu verantworten haben.
Dazu zählen:
- Entzündliche PAR.
Die Bezeichnung PAR steht für progressive Parodontopathien oder Parodontolyse (Rateitschak et al. 1978).
- Involutive PAR, Stillman-Clefts, Denudation.
Die klinischen Zahnkronen verlängern sich durch Schwund der fazialen Knochenwand und damit einhergehender Rezession der fazialen Gingiva. Taschenbildung und Entzündungssymptome sind nicht obligatorisch.
Diese PAR kann darauf beruhen, dass die knöcherne Alveolarwand im Bereich der Juga Alveolaria oft nur aus einer blattförmigen Kompaktaschicht besteht und diese weit apikal des Zahnhalses enden kann. Nachteilig wirken ferner Funktionsstörungen des stomatognathen Systems, welche auf die faziale Alveolenwand gerichtete Horizontalschübe hervorbringen, falsches horizontales Zähneputzen, Traumen, starker Lippen- und Wangendruck im Rahmen orofazialer Dyskinesien, ggf. verstärkt durch zu ausgeprägte Juga und last not least, Zugkräfte zu hoch ansetzender Lippen- und Wangenbändchen. Physiologische Alterungsprozesse im Parodont, auch frühzeitige, kommen nur als Kofaktoren in Frage, da sie stets das ganze und nicht nur selektiv das faziale Parodont betreffen (Everett et al. 1966, Schroeder 1976, Rateitschak 1978).
- Dasselbe gilt für Gottliebs Theorie des permanenten Durchbruchs der Zähne (Ketterl 1965) sowie für Orbans physiologischen passiven Durchbruch (Grant et al. 1979).
- Schrumpfung und Entschwellung des marginalen Parodontiums als Folge einer Kürettage oder eines parodontalchirurgischen Eingriffes (Everett et al. 1966, Rateitschak et al. 1978, Grant et al. 1979).

5.2.2. Zahn

Histochemische und mikromorphologische Eigenheiten der Zahnhartsubstanzen können zur Entstehung des vorliegenden Krankheitsbildes beitragen:
- Morphologie der SZG (=Schmelz-Zementgrenze).
Bei 10 % aller Zähne besteht eine zementfreie zervikale Zone, in der die Dentinoberfläche unmittelbar dem Desmodont bzw. Saumepithel oder dem Mundmilieu exponiert ist (Ketterl 1965, Everett et al. 1966, Schroeder 1976, siehe 5.1.).
- Dentindicke und Sklerosierungsgrad der Tubuli beeinflussen die Reizleitung (Permar 1967, Anderson 1975).
- Inwieweit der überdurchschnittlich hohe Proteinanteil in zervikalem Schmelz und Tomesscher Körnerschicht piezoelektrischen Effekten Vorschub leistet bleibt noch zu untersuchen (Schroeder 1976).
- Die Grösse der Tubulilumina wird weitestgehend von exogenen Faktoren variiert. Sie beinflusst das Schmerzgeschehen entscheidend (Johnson et al. 1974).
- Zahnhalskaries, Erosionen und keilförmige Defekte (Kerschbaum et al. 1974, Sauerwein 1976).
- Die Tomessche Körnerschicht mit ihrer Lage direkt unter dem Zement und ihrer delikaten Beziehung zu Dentintubuli sowie ihrem geringen Verkalkungsgrad (Permar 1967).
- Zementabtragung mit Dentinfreilegung nach root-plaining (Everett et al. 1966, siehe 5.1.).

5.2.3. Exogene Faktoren

- Funktionelle Störungen:
  Sie verschlimmern obengenannte Parodontopathien. Exzessiv auf Zahnhartsubstanzen einwirkende Axial- und Horizontalschübe erzeugen Druckspannungen und Scherkräfte, welche - insbesonders an der Zervikalregion - zu Schmelzabsprengungen und piezoelektrisch ausgelösten Schmerzsensationen führen können (Ketterl 1965, Athenstaedt 1967, Sauerwein 1976, Rateitschak et al. 1978).

- Iatrogene Traumata:
  Iatrogene, okklusale und marginale Irritationen, wie die Präparationsgrenze nicht erreichende oder abstehende und rauhe Kronenränder, ungünstige Prothesenklammern, überstehende Füllungen, Balance- und Hyperbalancekontakte sowie Früh- und Suprakontakte, verstärken und verursachen Myoarthropathien und Parodontopathien (Everett et al. 1966, Sauerwein 1976, Rateitschak et al. 1978).

- Mundhygiene:
  Vernachlässigte Mundhygiene fördert Kariesentstehung und entzündliche PAR, übertriebenes horizontales Zähneputzen eine involutive PAR, vorallem bei Verwendung eines zu abrasiven Putzkörpers, Zementabtragung, Dentinfreilegung und Ausschleifen keilförmiger Defekte (Ketterl 1965, Everett et al. 1966, Adams 1970, Rateitschak et al. 1978, Grant et al. 1979).

- Schmerzauslösende Noxen:
  Ihre Zahl ist Legion. Sie treten in Gestalt chemischer, mechanischer und thermischer sowie kombinierter Insulte auf (Everett et al. 1966, Adams 1970, siehe 5.1.).

- Vitamin B - Mangel (Adams 1970).

- Inwieweit eine Kalziumphospat- oder Hydroxylionen-Unterbilanz im Speichel oder weitere Besonderheiten in seiner Zusammensetzung zervikale Hyperalgesie provozieren, bleibt zu eruieren (Sauerwein 1976).

5.2.4. Spezielle Aspekte zur Schmerzentstehung

Es sind vor allem Erkenntnisse aus dem Umfeld der Hydrodynamisch-mechanischen Reizleitungstheorie Brännströms, die hier ihre Anwendung finden. Derzufolge erregt das Entfernen von aus den Dentintubuli herausgequollenen Flüssigkeitströpfchen oder die Bewegung des auf der Dentinoberfläche liegenden und mit Tubulusinhalt in Verbindung stehenden Flüssigkeitsfilmes um nur Tausendstel von Millimetern heftigen Schmerz an hyperalgetischen Zahnhälsen (Brännström 1963 und 1966).
An diesen Dentinarealen nämlich sind die Tubuli geöffnet (Ishikawa 1969) und ein Gewebsflüssigkeitsdruck in der Pulpa von 40 mm Hg hält einen stetigen, langsamen Auswärtsfluss von Tubulusinhalt zur Dentinoberfläche aufrecht (Beveridge et al. 1965, Horiuchi et al. 1973).

Unter hyperalgetischem Dentin sind aspirierte Odontoblastenkerne und eine disorganisierte Odontoblastenreihe gefunden worden (Ishikawa 1969).

Die Sekundär- oder Reizdentinbildung ist unter hyperalgetischen Dentinabschnitten nicht auffallend stärker als unter normalsensiblem Dentin (Ketterl 1965).

Klinische und histologische Untersuchungen zeigten zudem, dass selbst geringe Irritationen, die via Tubuli die Pulpa treffen, dort eine entzündliche Hyperämie verursachen, welche eng umschrieben bleibt. Diese hat eine ebenso kleinräumig begrenzte Sensibilitätssteigerung zur Folge (Ketterl 1965, Everett et al. 1966, Schwartz 1966, Anderson 1975).

Nach Meinung Adams liegt bei hyperalgetischen Zahnhälsen eine Form peripherer Neuritis vor, welche mit einem Vitamin B - Mangel verbunden ist. Die individuelle Versorgung mit diesem für seine neurologischen Effekte bekannten Vitamin soll ausschlaggebend dafür sein, dass freiligendes Dentin auch hypersensibel wird, was ja in vielen Fällen nicht der Fall ist (Adams 1970).

Sowohl bei axialen als auch radiären Druckbelastungen zeigten im Experiment die Zahnsegmente aus der zervikalen Zone die stärksten piezoelektrischen Effekte. Die Tatsache, dass Zement wesentlich stärker piezoelektrisch ist als Dentin, könnte sich u. E. höchstens so auswirken, dass sich infolge einer axialen Verkürzung des parodontalen Aufhängungssystemes neue statische Verhältnisse in den Hartsubstanzen ergeben, welche diese Eigenheit des Zementes erst zur Wirkung bringen (Athenstaedt 1967).

Die Theorie, zervikale Hyperalgesie komme von der gerade im zervikalen Praedentin äusserst hohen Zahl rekurrenter Nervenfasern, ist histologisch nicht zu vertreten.

6. DIE BEHANDLUNG HYPERALGETISCHER ZAHNHÄLSE MITTELS EINER ALUMINUMFLUORIDKOMPLEX- UND ALUMINIUMLACTATHALTIGEN ZAHNPASTA

6.1. Material und Methode

Die Wirksamkeit einer desensibilisierenden Zahnpasta wurde an empfindlichen Zahnhälsen untersucht. Die Zahnpasta beinhaltet als Wirkstoff 0,2 % Aluminiumfluoridkomplex und 0,8 % Aluminiumlactat.

Insgesamt haben sich 24 Probanden zur Verfügung gestellt. Die Zahl der für unsere Zwecke nutzbaren Zahnflächen beläuft sich auf 239 empfindliche bzw. freiliegende Zahnhälse. Die Probanden waren zum grössten Teil Studenten und Studentinnen der Zahnmedizin. Das Alter reichte von 19 bis 33 Jahre, der Durchschnitt betrug 27,1 Jahre.
Bei jedem Patienten wurde vor der Behandlung eine genaue Anamnese der Beschwerden und der Mundhygiene sowie ein intraoraler Befund erhoben. Nach einer Ausgangsmessung wurde den Probanden je eine Tube Zahnpasta überreicht, die kodiert beschriftet war (G-ZC 130/76). Sie sollten während des Versuches ausschliesslich diese Pasta in der täglichen Mundhygiene verwenden. Die gewohnte Putzmethode sollte beibehalten werden. Um die Objektivität zu gewähren, wussten weder Probanden noch Untersuchende was die Pasta enthielt (Doppelblindversuch).

Zur Erfassung der Sensibilitätsänderungen benutzten wir das Digilog-Pulpentestgerät. Wir haben im zervikalen Schmelzdrittel und, soweit möglich, im Dentin bzw. Zement freiliegender Zahnhälse gemessen. Wegen der engen topographischen Beziehung zur Gingiva war der Gebrauch von Contact Pads nicht möglich. Ein Kontakt des Elektrodengels mit der Gingiva wurde jedoch peinlichst vermieden.
Die Zähne wurden sorgfältig mit Watterollen getrocknet, die Elektrodenspitze mit ein wenig Elektrodengel beschichtet und an die gewünschte Zahnfläche gehalten. Dann wurde das Einstellrad stufenweise hochgedreht, bis der Proband das Erreichen seiner Reizschwelle akustisch mitteilte.

Die Messungen erfolgten sechsmal in regelmässigen wöchentlichen Abständen, jeweils zur gleichen Tageszeit. Vor jeder Messung wurde nach dem momentanen allgemeinen physischen und psychischen Zustand des Patienten gefragt und diese Beobachtungen in das Befund- und Messwerteschema eingetragen. Die Messergebnisse erfuhren die Patienten nicht.
Nach Ablauf der fünfwöchigen Behandlung wurden die Probanden nach einer subjektiven Besserungsempfindung befragt. Eine umfassende Mundhygieneinstruktion schliesst die Behandlung ab.

Die statistische Auswertung wurde nach entsprechender Darstellung mit der EDV im Rechenzentrum der Universität Tübingen vorgenommen.
Der Vergleich der wöchentlichen Messwerte wurde in einem Zeichen-Rangsummen-Test nach Wilcoxon durchgeführt.
Parallel zu dieser Arbeit untersuchte W.H. Knupfer mit derselben Methode eine andere Pasta, die nur Aluminiumfluoridkomplex ohne Zusatz von Lactat enthielt. Die Ergebnisse wurden in einem Vergleichstest für zwei unabhängige Stichproben, dem U-Test von Mann und Whitney einander gegenübergestellt. Die Signifikanz obengenannter Tests richtet sich nach der Irrtumswahrscheinlichkeit:

$p \leqslant 0{,}1$ - auffällig
$p \leqslant 0{,}05$ - signifikant
$p \leqslant 0{,}01$ - hochsignifikant

6.2. Ergebnisse

Der grösste Teil der Probanden klagte über Schmerzen beim Zähneputzen. Bei den anderen traten sie auf Süsse, Kälte, Berührung mit der Sonde oder dem Fingernagel, Obst, Fruchsäfte oder Wein in Erscheinung. Gelegentlich wurde von sporadischem Auftreten ohne klar erkennbare Zusammenhänge berichtet. Die Patienten empfanden die Pasta als ziemlich schäumend und adstringierend. Sie hinterliess nach dem Gebrauch ein pelziges Gefühl.

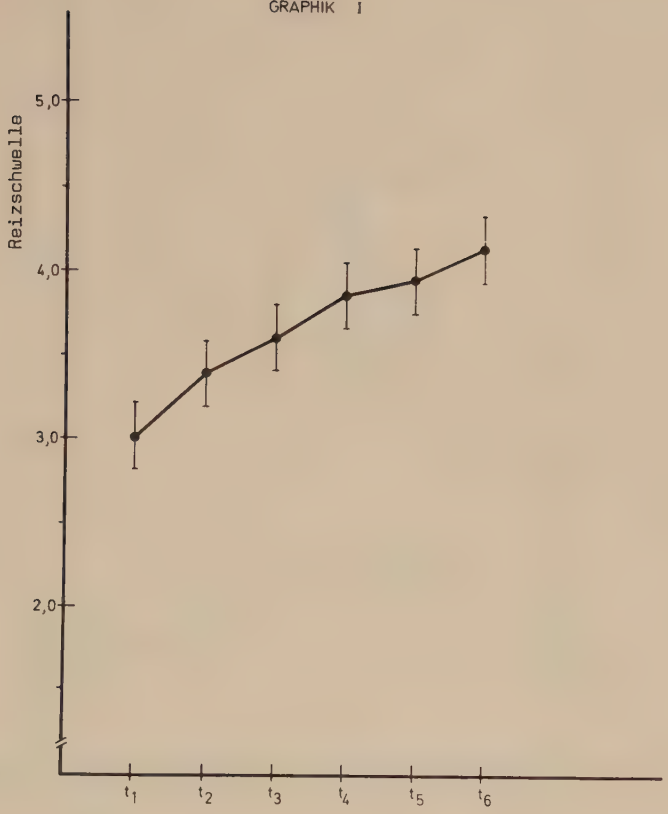
Die Reizschwellenmessungen ergaben einen kontinuierlichen Anstieg der Reizschwelle. Insgesamt zeigt der Vergleich von Anfang- und Endwerten aller Zahnflächen statistisch ein p von kleiner als 1×10^{-8}, d.h., die positive Änderung ist hochsignifikant.
Der Verlauf der Reizschwellenänderung von Schmelz-, Zement- und Dentinwerten freiliegender und empfindlicher Zahnhälse unterscheiden sich statistisch kaum.
Ähnliche Ergebnisse hat W.H. Knupfer in seiner Studie mit der anderen Pasta erhalten.
Ein signifikanter Unterschied der Besserung zwischen lactathaltigen und lactatfreien Pasten ist nicht feststellbar.
Als Ordinate haben wir aus technisch-statistischen Gründen die Schalterstellung des Digilogs gewählt. Betrachtet man den logarithmischen Spannungsverlauf des Digilogs (Abb. 5), fällt die Reizschwellenerhöhung bzw. Besserung erheblich deutlicher aus.

Eine Erhöhung der Empfindlichkeit erhielten wir fast immer bei Patienten, die am Vorabend übermässigen Alkohol getrunken haben. Das gleiche stellten wir bei Erkältungen, Stressituationen oder nach körperlichen Überanstrengungen fest. Sie manifestierten sich dann entsprechend in den klinischen Messungen.
Von der Möglichkeit hochempfindliche Zähne zu messen wurde bereits in Abschnitt 3.3. berichtet.

6.3. Graphische Darstellung der Messwerte

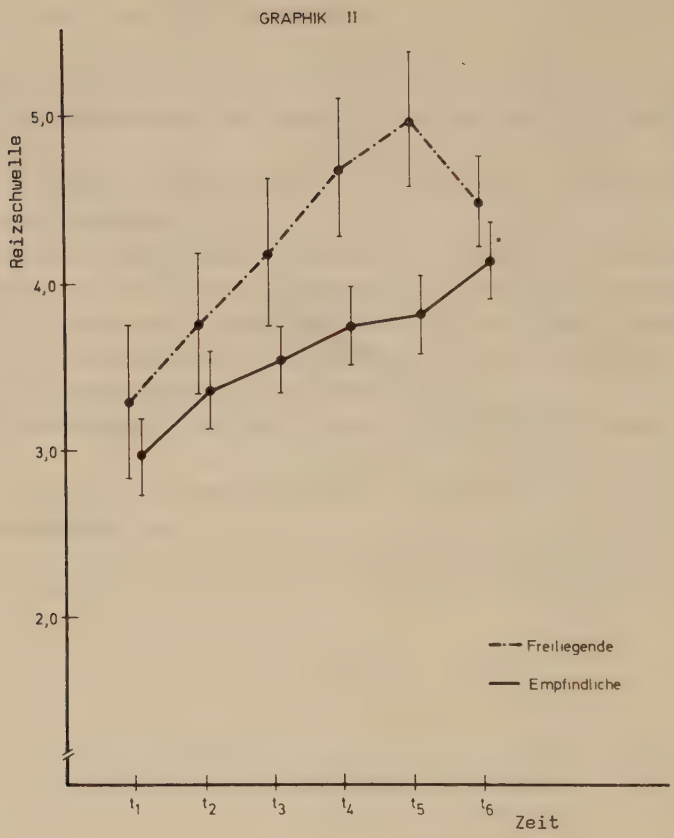
Die Abhängigkeit der Reizschwelle von der Applikationsdauer wird dargestellt. Die Empfindlichkeit der Zahnhälse nimmt mit dem Anstieg der Reizschwelle ab.
In den vorliegenden Abbildungen sind auf der Abszisse die wöchentlichen Messzeitpunkte abgetragen.
Die Ordinate zeigt aus technisch-statistischen Gründen nicht die Spannung in Millivolt, sondern in Skaleneinteilung des Digilogs. Betrachtet man den logarithmischen Spannungsverlauf des Digilogs (siehe Eichkurve, Abb. 5), fällt die Reizschwellenerhöhung bzw. der Anstieg der dargestellten Kurven erheblich deutlicher aus.
Die vertikalen Balken stellen den mittleren Fehler des Mittelwertes dar.
W-Test ist der Vergleichstest der wöchentlichen Messwerte nach Wilcoxon (Zeichen-Rangsummen-Test).
U-Test ist der Vergleichstest für zwei unabhängige Stichproben nach Mann und Whitney.

GRAPHIK I



Graphik I :

Schmelz- und Zementwerte sowohl empfindlicher als auch freiliegender Zähne zusammengefasst (alle Zahnflächen).
W-Test : Die Kurve zeigt einen kontinuierlichen Anstieg der Reizschwelle. Jeder Messzeitpunkt unterscheidet sich von vorhergehenden hochsignifikant.



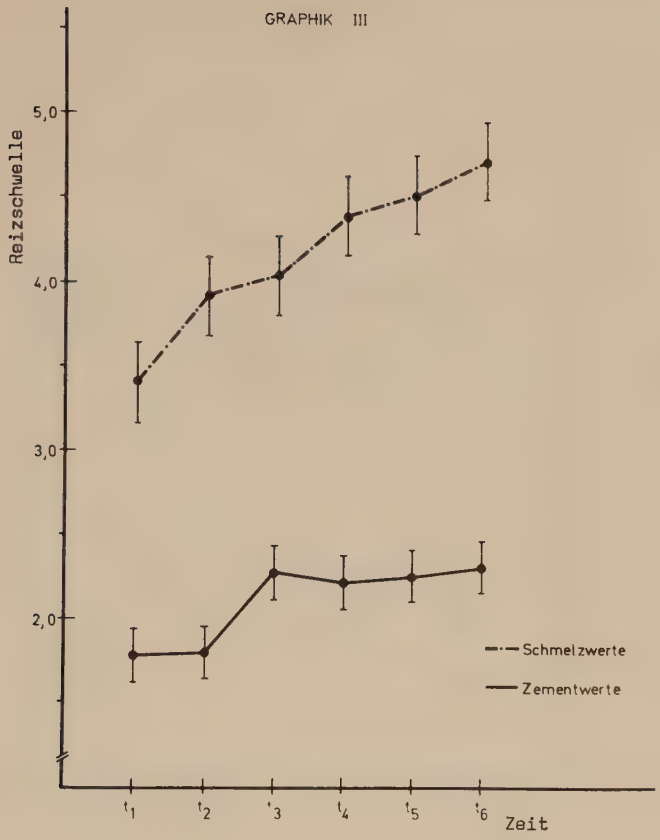
Graphik II :

Vergleich zwischen empfindlichen (Schmelz- und Zementwerte zusammengefasst) und freiliegenden Zähnen.

W-Test : Bis auf einen Rückgang zwischen t_5 und t_6 bei den freiliegenden, zeigen die übrigen Kurvenverläufe eine deutliche positive Tendenz, die der Graphik I entspricht.

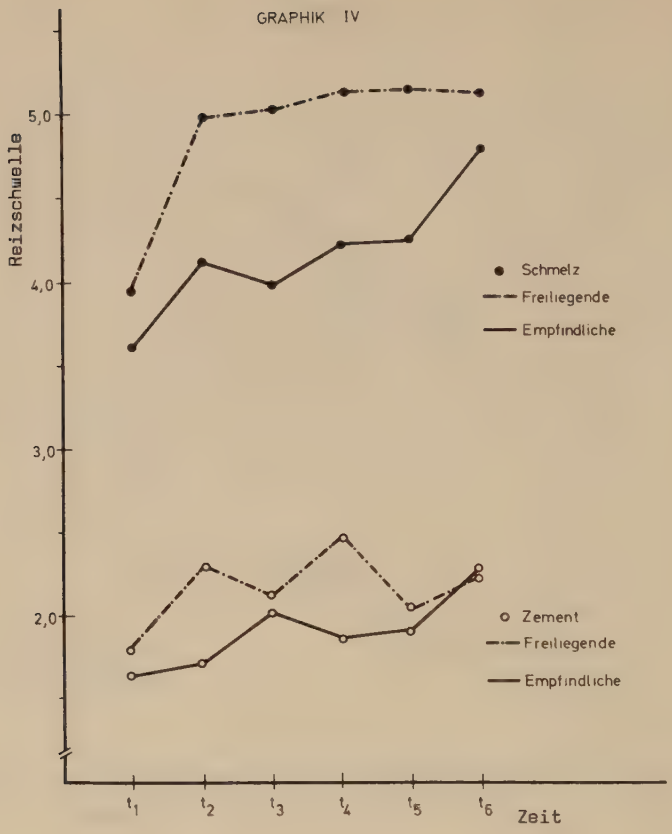
U-Test : Die Werte der empfindlichen liegen in dem Abschnitt t_2 bis t_5 mindestens auffällig unter den freiliegenden.

Keine eindeutige statistische Aussage erhalten wir, wenn es um die bessere Wirkung der Pasta in empfindlichen oder freiliegenden Zähnen geht.



Graphik III :

Vergleich zwischen Schmelz- und Zementwerten aller (empfindlicher und freiliegender) Zähne.
W-Test : Der Verlauf der Schmelzwerte ist fast identisch mit Graphik I. Nach anfänglicher Stagnation bei den Zementwerten steigt die Kurve von t_2 auf t_3 sprunghaft an und zeigt nach dem Rückgang wieder einen leichten Anstieg, der allerdings nur die Werte von t_3 erreicht.
U-Test : Die Zementwerte liegen hochsignifikant unter den Schmelzwerten.
Ob die Pasta im Schmelz besser wirkt (wie es in der Graphik erscheint), ist mit dem U-Test nicht zu verifizieren.



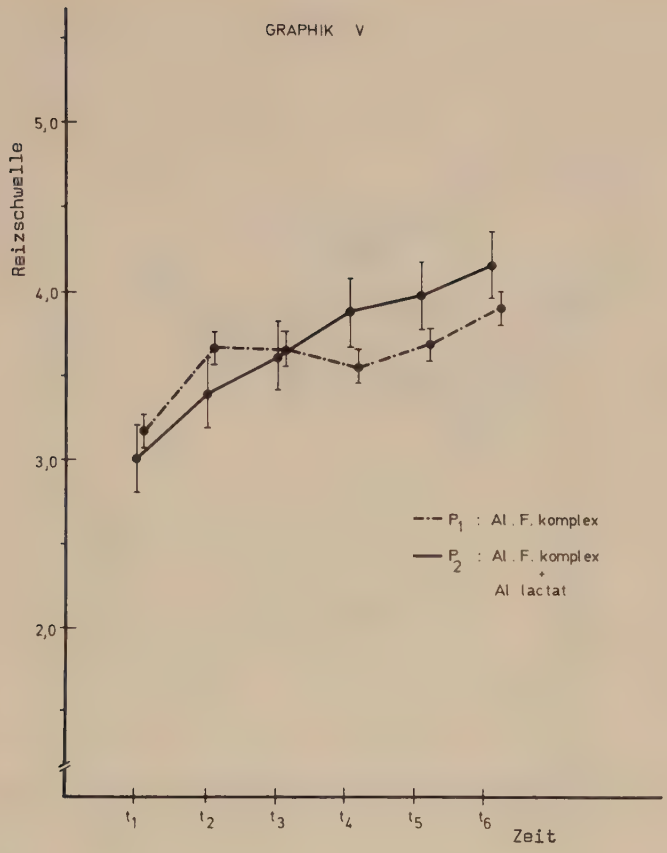
Graphik IV :

Vergleich zwischen Schmelzwerten empfindlicher, Schmelzwerten freiliegender, Zementwerten empfindlicher und Zementwerten freiliegender Zähne.

U-Test : Erwartungsgemäss liegen die Zementwerte hochsignifikant unter den Schmelzwerten.

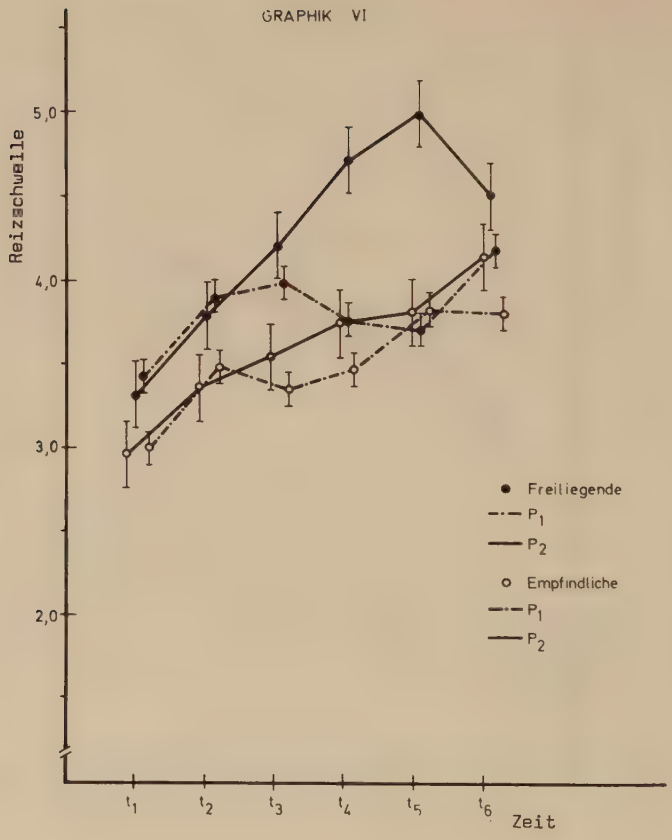
Auch die Werte von empfindlichen im Schmelz unterscheiden sich mit Ausnahme der Anfangs- und Endwerte mit mindestens signifikant von freiliegenden.

Im Zement dagegen findet man mit einer Ausnahme (t_2) keinen auffälligen Unterschied zwischen freiliegenden und empfindlichen. Auch aus diesem Test geht nicht eindeutig hervor, ob nun die Pasta auf empfindliche Flächen besser wirkt oder auf freiliegenden, sei es im Schmelz oder Zement.



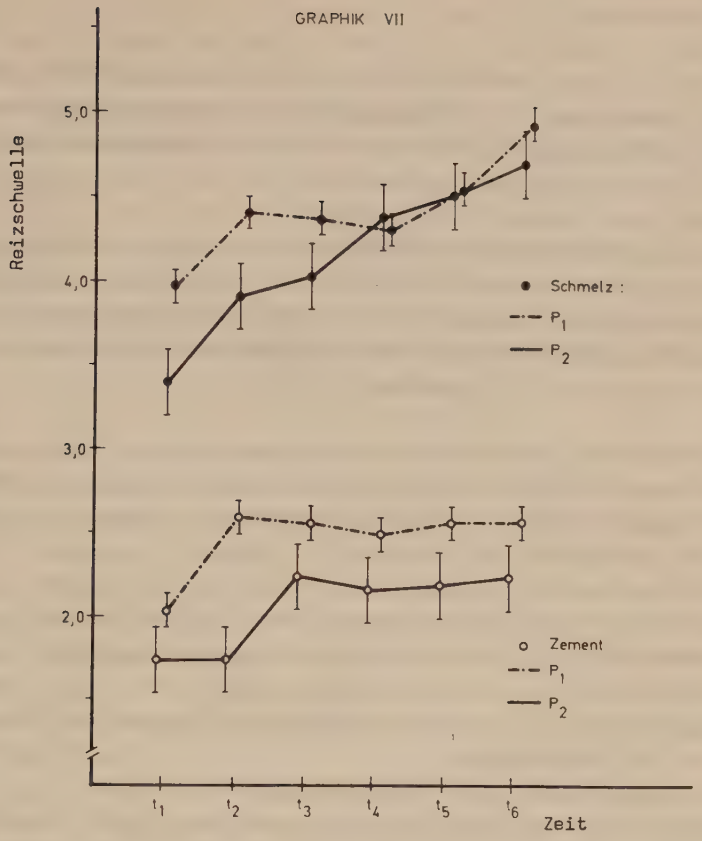
Graphik V :

Vergleich zwischen einer aluminiumfluoridkomplexhaltigen Pasta (P_1) und solcher mit Zusatz von Aluminiumlactat (P_2).
U-Test : Die P_2-Kurve zeigt einen regelmässigeren Besserungsverlauf als P_1. Die P_2-Kurve hat einen niedrigeren Anfangswert und einen höheren Endwert als die P_1-Kurve. Ein statistischer Unterschied beider Kurven geht jedoch aus diesem U-Test nicht hervor.



Graphik VI :

Vergleich zwischen empfindlichen Zähnen, die mit P_1 und empfindlichen, die mit P_2 behandelt wurden sowie Vergleich zwischen freiliegenden, die mit P_1 und freiliegenden, die mit P_2 behandelt wurden.
U-Test : Ein Unterschied in der Wirkung von P_1 und P_2 kann weder in empfindlichen noch in freiliegenden Zähnen statistisch gesichert werden.



Graphik VII :

Vergleich zwischen Zementwerten (empfindlicher und freiliegender zusammengefasst) von P_1 und Zementwerten von P_2 sowie Vergleich zwischen Schmelzwerten von P_1 und Schmelzwerten von P_2.
U-Test : Auch hier kann man statistisch keinen Unterschied der Wirkung beider Pasten feststellen.

6.4. Diskussion

Da bis jetzt einer einmaligen Behandlung ein dauerhafter Erfolg versagt bleibt, erscheint die tägliche unterstützende Behandlung mittels einer Zahnpasta sehr wichtig zu sein. Eine gute Mundhygiene wirkt sich auch deshalb günstig aus, da Plaque und food debris die Hypersensibilität fördern (Everett 1966, Grant 1979).
Die empfindlichen Zahnhälse bilden bei der konsequenten Durchführung der Oralhygiene ein erhebliches Hinderniss. Viele Patienten wagen sich an die Zähne nicht heran, die Plaquebildung wird dadurch begünstigt. Parodontopathien können ungehindert entstehen oder sich verstärken. Der circulus vitiosus ist eröffnet.

Die Behandlung mit Fluoriden ist auf Lukomsky (1941) und Hoyt und Bibby (1943) zurückzuführen. Die Fluoride haben einen zusätzlichen günstigen Effekt, die Karieshemmung, und finden daher in der Prophylaxe eine sehr grosse Verbreitung.
Die genaue desensibilisierende Wirkungsweise von Fluor ist noch unbekannt. Es wird vermutet, dass Fluor:

- Mikropräzipitation von Calciumfluorid in den Dentinkanälchen und an den Öffnungen,
- Begünstigung von Remineralisationsvorgängen und Bildung von Reparativ- bzw. Sekundärdentin,
- direkte Beeinflussung der Schmerzrezeptoren

bewirkt (Lukomsky 1941, Hoyt und Bibby 1943, Everett et al. 1966, Murthy et al. 1973, Schmidt und Seidel 1974, Gangarosa et al. 1978, Gedalia et al. 1978).

Von Aluminium weiss man, dass seine Salze eine adstringierende Wirkung haben, d.h., sie denaturieren oberflächliches Eiweiss von lebendem Gewebe (IZA 1978, Estler 1980, Riethe et al. 1980).
Das pelzige Gefühl, das die Patienten nach Gebrauch von dieser Zahnpasta bemerkt haben, ist u. E. auf diese Wirkung von Aluminium zurückzuführen.

Der Zusatz von Lactat könnte eine Beschleunigung und Intensivierung von Fluoriddiffusion und OH-Ersatz bewirken (Kerschbaum et al. 1974, Groeneveld 1978).
In unserer vergleichenden Untersuchung ist diese Wirkung zumindest in der Kombination mit dem Aluminiumfluoridkomplex nicht signifikant nachweisbar.

Sehr auffällig ist bei den Patienten die subjektive, schwankende Reizschwelle, die sich nach der physischen und psychischen Verfassung richtet. So registrierten wir bei den Patienten nach übermässigem Gebrauch von Alkohol, bei Erkältungen, Stressituationen oder körperlichen Überanstrengungen entsprechend niedrigere Messwerte.

Ein gewisser Placeboeffekt ist trotz Doppelblindversuch und Geheimhaltung der Messergebnisse nicht auszuschliessen, da schon die Tatsache gezielten Interesses an empfindliche Zahnhälse und die Verabreichung einer Zahnpasta den Effekt mit sich bringen könnten.

Die Trockenlegung mittels Watterollen an sich stellt schon einen Reiz dar (siehe 4.3.), da sie den Flüssigkeitsfluss anregt. Sie wurde aber jedesmal immer in der gleichen Weise durchgeführt, sodass man den Störfaktor als eine Konstante betrachten kann, die den Besserungsverlauf nicht beeinflusst.
Das leichte Prickeln oder Kribbeln, das die Patienten bei Erreichen der Reizschwelle angeben, könnte sich um eine gewisse pre-pain Sensation handeln (Greenwood et al. 1972), da der Zahn eindeutig nur eine Sinnesqualität besitzt: Schmerz (Saxer 1958, Godt 1967, Anderson et al. 1970, Greenwood et al. 1972).
Bei Erhöhung der Reizspannung geht auch dieses in Schmerz über.

Offensichtlich besteht zwischen mechanischen und elektrischen Reizschwellen kein Zusammenhang, wie wir bei den Messungen der hochempfindlichen Zähne feststellten. Sie haben kaum niedrigere Werte als andere, weniger empfindliche oder nur freiliegende Zahnhälse. Die verschiedenen Schmerzentstehungsmodi könnten als Erklärung dienen (siehe 4.3.).

7. ZUSAMMENFASSUNG

Die elektrische Sensibilitätsprüfung stellt zur Zeit immer noch die zuverlässigste quantifizierbare Messmethode dar. Mit dem Digilog hat die Firma Demetron ein handliches Gerät auf den Markt gebracht. Der logarithmische Spannungsverlauf ermöglicht eine schrittweise allmähliche Spannungssteigerung und trägt, zusammen mit der negativen Polarität dazu bei, dass die Sensibilitätsprüfung weitgehend schmerzfrei und angenehm für den Patienten gestaltet werden kann.

Die hydrodynamische Theorie stellt die glaubwürdigste Reizleitungstheorie dar und wird heutzutage weitgehend akzeptiert. Es scheint aber, dass auch noch andere Mechanismen an der Schmerzentstehung beteiligt sind.

Bei der Ätiologie der freiliegenden Zahnhälse kann keine Ursache in dem polykausalen Geschehen isoliert betrachtet werden.

Wir haben die Wirkung einer aluminiumfluoridkomplex- und aluminiumlactathaltigen Zahnpasta auf empfindliche Zahnhälse untersucht. Insgesamt zeigt sich, dass die Endwerte hochsignifikant über den Anfangswerten liegen. Der Besserungsverlauf im Schmelz und Zement bzw. Dentin empfindlicher und freiliegender Zahnhälse unterscheidet sich statistisch kaum.

Der Vergleich mit einer aluminiumfluoridkomplexhaltigen Pasta ohne Zusatz von Lactat, die parallel zu dieser Studie untersucht wurde, zeigt keinen statistischen Unterschied in der Wirkung.

8. LITERATURVERZEICHNIS

Elektrische Pulpenprüfmethoden:

1. Bhaskar, S.N. and H.M.Rappaport : Dental vitality tests and pulp status.
   J.Amer.dent.Ass. 86, 409-411 (1973).
2. Birkenhauer, H. : Über die Reizzeitstromkurven der gesunden Pulpa.
   Dtsch.zahnärztl.Z. 5, 1346-1355 (1950).
3. Björn, H. : Electrical excitation of teeth and its application to dentistry.
   Svensk tankläk.-Tidskr. 39, suppl. (1946).
4. Block, K.L. und P.Riethe : Untersuchungen über Reizschwellenveränderungen am menschlichen Zahn unter Wirkung analgetischer Substanzen.
   Stoma (Heidelb.) 15, 248-259 (1962).
5. Borschke, A. und H.Wolf : Eine neue Methode der elektrischen Zahnuntersuchung.
   Z.Stomat. 27, 202-210 (1929).
6. Braunsdorf, H. : Die elektrische Pulpaprüfung. Ein wertvolles Diagnostikum zur Erfassung gradueller Sensibilitätsänderungen der Zahnpulpa.
   Med.Diss. Göttingen 1959.
7. Civjan, S., J.J.Barone and G.J.Vaccaro : Electric pulp vitality testers.
   J.dent.Rest. 52, 120-126 (1973).
8. Constantin, I., V.Severineanu und N.Tudose : Die Prüfung des elektrischen Widerstandes als objektiver Diagnosetest bei Pulpaerkrankungen.
   Dtsch.Zahn-, Mund- u. Kieferheilk. 64, 550-560 (1976).
9. Degering, C.I. : Physiology evaluation of dentalpulp testing methods.
   J.dent.Res. 41, 695-700 (1962).
10. Engelter, A., H.Harnisch und R.Martin: Zur Methodik der Prüfung der Wirksamkeit von Lokalanästhetika und Analgetika durch elektrische Reizschwellenmessungen am menschlichen Zahn.
    Stoma (Heidelb.) 8, 37-48 (1955).

11. Farell, T.H. : A preliminary investigation into the electrical properties of human teeth.
Brit.dent.J. 104, 353-359 (1958).

12. Fischer, C.-H. : Die Vitalitätsprüfung der Pulpa.
Zahnärztl.Mitt. 63, 857-861 (1973).

13. Fuijt, W. : Über die Anwendung von schwachen Induktionsströmen zum Aufspühren einiger Krankheiten der Pulpa.
Zahnärztl.Rdsch. 11, 9377-9379 (1902).

14. Fuhr, K. und W.Scherer : Prüfmethodik und Ergebnisse vergleichender Untersuchungen zur Vitalitätsprüfung von Zähnen.
Dtsch.zahnärztl.Z. 23, 1344-1349 (1968).

15. Geffert, R : Über Schwierigkeiten der Objektivierung analgetischer Wirkungen am Menschen.
Münch.med.Wschr. 51, 2355-2357 (1959).

16. Godt, H. : Beitrag zur Ermittlung der elektrischen Reizschwelle am Zahn.
Dtsch.zahnärztl.Z. 22, 1363-1367 (1967).

17. Godt, H. und B.v.Bredow : Untersuchungen über den elektrischen Widerstand in den Zahnhartgeweben.
Dtsch.Zahn-, Mund- u. Kieferheilk. 48, 363-370 (1967).

18. Grayson, A.S. : Ein neuer elektrischer Pulpen-Vitalitätsprüfer.
Quintessenz 28, Referat 5712, 1-5 (1977).

19. Greenwood, H., H.Horiuchi and B.Matthews : Electrophysiological evidence on the types of nerve fibres excited by electrical stimulation of teeth with a pulp tester.
Arch.oral Biol. 17, 701-709 (1972).

20. Gülzow, H.-J. : Die objektiven Prüfungsmethoden als Hilfsmittel für die Pulpadiagnostik.
Dtsch.Zahnärztebl. 17, 430-433 (1963).

21. Hauschild, J. : Über die elektrische Erregbarkeit der Schmerzempfindungsschwelle des oberen menschlichen Schneideszahnes in Abhängigkeit von dessen Temperatur und Impulsfolgefrequenz der Reize.
Med.Diss. Kiel 1971.

22. Heppe, H. : Vergleichende Untersuchungen zur Prüfung der Reizintensität beim Sensibilitätstest der Zähne.
Med.Diss. Tübingen 1971.

23. Kerpel, E. : Vitalitätsprüfung der Zähne mittels verschiedener elektrischer Stromarten.
Z.Stomat. 29, 1377-1385 (1933).

24. Langegger, P.A. : Ein neues Gerät zur Prüfung der Pulpenvitalität.
Öst.Z.Stomat. 51, 200-204 (1954).

25. Lullies, H. : in Keidel, W.D. Kurzgefasstes Lehrbuch der Physiologie.
4.Aufl. Stuttgart: Thieme 1975.

26. Lundy, T. and H.R.Stanley : Correlation of pulpal histopathology and clinical symptoms in human teeth subjected to experimental irritation.
Oral Surg. 27, 187-201 (1969).

27. Martin, H., C.Ferris and W.Mazella : An evaluation of media used in electric pulp testing.
Oral Surg. 27, 374-378 (1969).

28. Matthews, B. and B.N.Searle : Output characteristics of commercially available pulp testers.
J.dent.Res. 52, suppl. 5, 947 (1973).

29. Matthews, B., H.Horiuchi and F.Greenwood : The effect of stimulus polarity and electrode area on the threshold to monopolar stimulation in human subjects, with some preliminary observations on the use of a bipolar pulp tester.
Arch.oral Biol. 19, 35-42 (1974).

30. Mayer, R. und H.Heppe : Vergleichende klinische Untersuchungen unterschiedlicher Mittel und Methoden zur Prüfung der Vitalität der Zähne.
Zahnärztl.Welt 83, 777-781 (1974).

31. Millard, H.D. : Electric pulp testers.
J.Amer.dent.Ass. 86, 872-873 (1973).

32. Müller, J. : Die elektrische Hochfrequenzprüfung und die Prüfung mit Kohlensäureschnee der marktoten Zähne unter besonderer Berücksichtigung des Gesamtzustandes der Probanden.
Med.Diss. Tübingen 1958.

33. Mumford, J.M. : Path of direct current in electric pulp-testing.
Brit.dent.J. 106, 23-26 (1959).

34. Mumford, J.M. : Pain perception threshold and adaptation of normal human teeth.
Arch.oral Biol. 10, 957-968 (1965).

35. Mumford, J.M. : Pain perception threshold on stimulating human teeth and the histological condition of the pulp.
Brit.dent.J. 123, 427-433 (1967).

36. Mumford, J.M.(a) : Resistivity of human enamel and dentine.
Arch.oral Biol. 12, 925-927 (1967).

37. Mumford, J.M. : Stimulus evoked pain in teeth.
Front.oral Physiol. 2, 51-77 (1976).

38. Mumford, J.M. and H.Björn : Problems in electric pulp-testing and dental algesimetry.
Int.dent.J. 12, 161-179 (1962).

39. Mumford, J.M. and A.V.Newton : Zone of excitation when electrically stimulating human teeth.
Arch.oral Biol. 14, 1383-1388 (1969).

40. Nünlist, A. : Bemerkung zur Vitalitätsprüfung der Pulpa nach Schroeder.
Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 41, 784-788 (1931).

41. Pöllmann, L. : Über verschiedene Methoden der Prüfung der Schmerzschwelle an Zähnen.
Zahnärztl.Welt. 83, 887-888 (1974).

42. Pöllmann, L. : Der Zahnschmerz.
München, Wien : Hanser 1980.

43. Saxer, A. : Die Vitalitätsprüfung der Zähne.
Med.Diss. Zürich 1958.

44. Sauerwein, E. : Zahnerhaltungskunde.
3.Aufl. Stuttgart : Thieme 1976.

45. Schärer, P. : Praktische Aspekte der Physiologie des Kauapparates.
Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 79, 1053-1065 (1969).

46. Schröder : Der Inductionsstrom als Diagnosticum in der zahnärztlichen Praxis.
Korresp.Bl. Zahnärzte 34, 68-78 (1905).

47. Stiegler, J.H. : Zur Problematik der Pulpenvitalitätsprüfung.
Wien.med.Wschr. 104, 99-101 (1954).

48. Stiegler, J.H. : Neue Wege der Pulpenvitalitätsprüfung.
Zahnärztl.Welt. 10, 426-427 (1955).

49. v.Werz, R. und R.Weber : Über die Chronaxie der Schmerzrezeptoren in den Zähnen.
Dtsch.zahnärztl.Wschr. 36, 276-278 (1933).

50. Weber, R. : Beiträge zur Physiologie des gesunden und kranken Zahnmarks. Über die Chronaxie der sensiblen Nervenendigungen im gesunden Zahn.
Dtsch.Mschr.Zahnheilk. 51, 769-775 (1933).

51. Witthaus, C. : Demonstration eines Apparates, die Vitalität eines Zahnes festzustellen.
Dtsch.Mschr.Zahnheilk. 20, 543-544 (1902).

52. Wolf, H. : Über elektrische Zahnuntersuchung.
Z.Stomat. 25, 495-517 (1927).

53. Wolf, H. : Die Zahnmarkprüfung mittels Hochfrequenzströmen.
Dtsch.zahnärztl.Wschr. 41, 1066-1067 (1938).

54. Ziskin, D.E. and A.Wald : Observations on electric pulp testing.
J.dent.Res. 17, 79-89 (1938).

55. Ziskin, D.E. and E.V.Zegarelli : The pulp testing problem. The stimulus threshold of the dental pulp and the peridental membrane as indicated by electrical means.
J.Amer.dent.Ass. 32, 1439-1449 (1958).

Reizleitungstheorien:

1. Anderson, D.J. : Human and animal studies on sensory mechanisms in teeth.
Int.dent.J. 22, 33-37 (1972).
2. Anderson, D.J. : Pain from dentine and pulp.
Br.med.Bull. 31, 111-114 (1975).
3. Anderson, D.J. and B.Matthews : Osmotic stimulation of human dentine and the distribution of dental pain thresholds.
Arch.oral Biol. 12, 417-426 (1967).
4. Anderson, D.J. and B.Matthews : Dentinal and periodontal sensory mechanismus.
Front.oral Physiol. 2, 38-50 (1976).
5. Anderson, D.J., A.G.Hannam and B.Matthews : Sensory mechanisms in mammalian teeth and their supporting structures.
Physiol.Rev. 50, 171-195 (1970).
6. Anderson, D.J., B.Matthews and C.Goretta : Fluid flow through human dentine.
Arch.oral Biol. 12, 209-216 (1967).
7. Anderson, D.J., B.Matthews and L.E.Shelton : Variations in the sensitivity to osmotic stimulation of human dentine.
Arch.oral Biol. 12, 43-47 (1967).
8. Anderson, D.J., B.Matthews an R.Yemm : Test of the hydrodynamic hypothesis for dentine sensitivity in man.
J.dent.Res. 52, suppl. 127 (1973).
9. Athenstaedt, H. und H.D.Petersen : Das piezoelektrische Verhalten menschlicher Zahnhartgewebe.
Z.Zellforsch. 79, 592-598 (1967).
10. Beveridge, E.E. and A.C.Brown : The measurement of human dental intrapulpal pressure and its response to clinical variables.
Oral.Surg. 19, 655-668 (1965).
11. Brännström, M. : Eine Theorie über die Sensibilität des Dentins.
Dtsch.Zahn-,Mund- u. Kieferheilk. 39, 7-13 (1963).
12. Brännström, M. : Sensitivity of dentine.
Oral Surg. 21, 517-527 (1966).

13. Brännström, M. and A.Aström : The hydrodynamics of the dentine; its possible relationship to dentinal pain.
Int.dent.J. 22, 219-228 (1972).

14. Brännström, M. and R.Garberoglio : The dentinal tubules and the odontoblast process.
Acta odont.Scand. 30, 291-311 (1972).

15. Brännström, M. and G.Johnson : The sensory mechanism in human dentin as revealed by evaporation and mechanical removal of dentin.
J.dent.Res. 57, 49-53 (1978).

16. Dellow, P.G. and M.L.Roberts : Bradykinin application to dentine: a study of a sensory reception mechanism.
Aust.dent.J. 10, 384-387 (1966).

17. Eifinger, F.F. : Die Mikromorphologie der menschlichen Zahnpulpa.
München : Hanser 1970.

18. Frank, R.M., C.Sauvage and P.Frank : Morphological basis of dental sensitivity.
Int.dent.J. 22, 1-19 (1972).

19. Gaunt, W.A., J.W.Osborn and A.R.Ten-Cate : Advances in dental histology.
Bristol : J.Wright and Sons 1967.

20. Horiuchi, H. and B.Matthews : In vitro observations on fluid flow through human dentine caused by pain-producing stimuli.
Arch.oral Biol. 18, 275-294 (1973).

21. Johnson, G. and M.Brännström : The sensitivity of dentine.
Acta odont.Scand. 32, 29-38 (1974).

22. Langeland, K. and T.Yagi : Investigations on the innervation of teeth.
Int.dent.J. 22, 240-269 (1972).

23. Liboff, A.R. and M.H.Shamos : Piezoelectric effect in dentine.
J.dent.Res. 50, 516 (1971).

24. Magloire, H., H.Vinard et A.Joffre : Données récentes sur la sensibilité de la dentine.
Méd.et Hyg. 36, 3160-3162 (1978).

25. Masterton, J.B. : Nerves and blood-vessles in pulp wound scar tissue.
Dent.Practit. 17, 164-168 (1967).

26. Matthews, B. : Sensory mechanisms in dentine.
Proc.roy.Soc.Med. 65, 19-21 (1972).

27. Matthews, B. : The mechanisms of pain from dentine and pulp.
Brit.dent.J. 140, 57-60 (1967).

28. Matthews, B. and R.Orchardson : Effects on nerves of some solutions that cause pain from dentine.
J.dent.Res. 52, suppl. 126 (1973).

29. Mjör, I. A. and O.Fejerskon : Histology of human tooth.
2nd Edition Copenhagen : Munksgaard 1979.

30. Mumford, J.M. and A.V.Newton : Transduction of hydrostatic pressure to electric potential in human dentin.
J.dent.Res. 48, 226-230 (1969).

31. Orban, B.J. : Orban's embryology and histology.
9th Edition St. Louis-Toronto-London : Mosby 1980.

32. Permar, D. : Oral embryology and microscopic anatomy.
4th Edition Philadelphia : Lea and Febiger 1967.

33. Roane, J.B., D.W.Foreman, R.C.Melfi and F.J.Marshall : An ultrastructural study of dentinal innervation in the adult human tooth.
Oral.Surg. 35, 94-104 (1973).

34. Stockinger, L. und W.Pritz : Morphologische Aspekte der Schmerzempfindung im Zahn.
Dtsch.zahnärztl.Z. 25, 557-565 (1970).

35. Susi, F.R. : Sensory receptor morphology in the teeth and their supporting tissues.
Dent.Clin.N.Amer. 22, 3-9 (1978).

36. Toyoda, M. : Die Innervation des menschlichen Zahnbeins.
Dtsch.zahnärztl.Wschr. 28, 641-645 (1934).

Statistik:

1. Sachs, L. : Statistische Auswertungsmethoden.
3.Aufl. Berlin : Springer 1972.

2. Weber, E. : Grundriss der biologischen Statistik.
6.Aufl. Stuttgart : Fischer 1970.

Ätiologie und Behandlung hyperalgetischen Zahnflächen:

1. Adams, W.K. : A clinical observation of a succesful method for reduction of hypersensitive dentin and cementum. Dent.Dig. 76, 342-343 (1970).
2. Anderson, D.J. : Pain from dentine and pulp. Br.med.Bull. 31, 111-114 (1975).
3. Anderson, D.J. and B.Matthews : An investigation into the reputed desensitizing effect of applying silver nitrate and strontium chloride to human dentin. Arch.oral Biol. 11, 1129-1135 (1966).
4. Bräuner, J.J. : Thesauri Sanitatis. Franckfurt am Mayn bey J.F.Fleischern 1725.
5. Beck, F.M. : Placebos in dentistry : their profound potential effects. J.Amer.dent.Ass. 95, 1122-1125 (1977).
6. Bertolini, A., Brusotti, Corvi : Ein neues Gerät zur Desensibilisierung der Zähne, zur Behandlung von Parodontopathien und zur Kariesprophylaxe. Zahnärztl.Welt 67, 114-119 (1966).
7. Blitzer, B. : A consideration of the possible causes of dental hypersensitivity : treatment by a strontium-ion dentifrice. Periodontics 5, 318-321 (1967).
8. Bolden, T.E., A.Volpe and W.J.King : The desensitizing effect of a sodiummonofluorphosphate dentifrice. Periodontics 6, 112-114 (1968).
9. Brunnhölzl, K. : Doppeltouchierung bei zervikaler Hypersensibilität. Quintessenz 28, Referat 5624, 1-2 (1977).
10. Dayton, R.E., T.J.de Marco and D.Swedlow : Treatment of hypersensitive root surfaces with dental adhesive materials. J.Periodont. 45, 873-878 (1974).
11. Estler, C.-J. : Pharmakologie für Zahnmediziner. 2.Aufl. Stuttgart-New York : Schattauer 1980.
12. Everett, F.G., W.B.Hall and N.M.Phatak : Treatment of hypersensitive dentin. J.oral Ther.Pharmacol. 2, 300-310 (1966).

13. Gangarosa, L.P. and N.H.Park : Practical considerations in iontophoresis of fluoride for desensitizing dentin.
J.prosth.Dent. 39, 173-178 (1978).

14. Gangarosa, L.P., G.A.Heuer, N.H.Park, B.B.Hayes, C.K.Little, G.W.Baker and M.A.Smith : Desensitizing hypersensitive dentin by iontophoresis with fluoride.
N.Y.St.dent.J. 44, 92-94 (1978).

15. Gedalia, I., L.Brayer, N.Kalter, M.Richter and A.Stabholz : The effect of fluoride application on dentin : in vivo and in vitro studies.
J.Periodont. 49, 269-272 (1978).

16. Grant, D.A., I.B.Stern and F.G.Everett : Periodontics in the tradition of Orban and Gottlieb.
5th Edition St.Louis-Toronto-London: Mosby 1979.

17. Green, B.L., M.L.Green and W.T.McFall : Calcium hydroxide and potassium nitrate as desensitizing agents for hypersensitive root faces.
J.Periodont. 48, 667-672 (1972).

18. Greenhill, J.D., T.E.Kehl and D.H.Rashley : An in vitro evaluation of dentin desensitizing agents.
J.dent.Res. 57, suppl. A, 851 (1978).

19. Groeneveld, A. : in König K.G. en H.Hoogendoorn Tandheelkundige preventie en haar wetenschappelijke basis.
Veenendaal: Akzo dental research in samenwerking met Intec bv 1979.

20. Grossmann, L. : A systematic method for the treatment of hypersensitive dentin.
J.Amer.dent.Ass. 22, 592-602 (1935).

21. Hazen, S.P., A.R.Volpe and W.J.King : Comparative desensitizing effect of dentifrices containing sodiummonofluorphosphate, stannous fluoride and formalin.
Periodontics 6, 230-232 (1968).

22. Hernandez, F., C.Mohamed, I.Shannon, A.Volpe and W.King : Clinical study evaluating the desensitizing effect and duration of two commercially available dentifrices.
J.Periodont. 43, 367-372 (1972).

23. Hiatt, W.H. and E.Johansen : Root preparation : I. Observation of dentinal tubules in treatment of root hypersensitivity.
J.Periodont. 43, 373-380 (1972).

24. Hochstein, H.-J., U.Hochstein und L.Breitung : Erfahrungen mit den Fluorlack Duraphat.
Zahnärztl.Welt 84, 26-30 (1975).

25. Hoyt, W.H. and B.G.Bibby : Use of sodium fluoride for densensitizing dentin.
J.Amer.dent.Ass. 30, 1372-1376 (1943).

26. Ishikawa, S. : A clinico-histological study on the hypersensitive of dentin.
J.Jap.stomat.Soc. 36, 68-88 (1969).

27. IZA : Information über zahnärztliche Arzneimittel, herausgegeben vom Bundesverband der Deutschen Zahnärzte e.V. und der Kassenzahnärztlichen Bundesvereinigung.
6.Aufl. Köln 1978.

28. Keil, E. und H.T.Tschamer : Behandlung von hypersensiblem Dentin mit jodhaltiger Zahnpasta.
Zahnärztl.Welt 67, 325-326 (1966).

29. Ketterl, W. : Der freiliegende Zahnhals.
Dtsch.Zahnärztebl. 19, 751-764 (1965).

30. Kerschbaum, T., K.G.König und E.Stapf : Karies und Kariesprophylaxe.
München-Wien : Hanser 1974.

31. Lawson, B. and T.H.Huff : Desensitization of teeth with a topically applied glucocorticoid drug.
J.oral Ther.Pharmacol. 2, 295-299 (1966).

32. Lawson, P.M., L.L.Yearwood and W.N.Carpenter : The desensitizing effect of calcium hydroxide and magnesium hydroxide on hypersensitive dentin.
Oral Surg. 35, 741-746 (1973).

33. Link, H. : Die infiltrative Therapie bei Hyperämie, Pulpitis coronalis und sensiblen Zahnhälsen.
Zahnärztl.Prax. 31, 400-401 (1980).

34. Lukomsky, E.H. : Fluoride therapy for exposed dentin and alveolar athropy.
J.dent.Res. 20, 649-659 (1941).

35. Lutz, H.J. : Dent ifrice composition and method for desensitizing sensitive teeth.
U.S.Patent 4011309 (1977).

36. Mc Lachlan, W. : Tooth damage from use of citrus fruits.
Brit.dent.J. 131, 385 (1971).

37. Meissler, A.I. : Effective treatment for hypersensitive teeth.
Dent.Surv. 52, 49-52 (1976).

38. Meyer, U. : Klinische Prüfung der desensibilisierenden Wirkung von Katryps und rapid-Lasul auf schmerzhafte Zahnhälse.
Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 83, 11-17 (1973).

39. Miller, J.T., I.L.Shannon, W.G.Kilgore and J.E.Bookmann : Use of water-free stannousfluoridecontaining gel in the control of dental hypersensitivity.
J.Periodont. 40, 490-491 (1969).

40. Minkov, B., I.Marmari, I.Gedalia and A.Garfunkel : The effectiveness of sodium fluoride treatment with and without iontophoresis on the reduction of hypersensitive dentin.
J.Periodont. 46, 246-249 (1975).

41. Mühlemann, H.R. und A.Fistarol : Zur Selbstbehandlung überempfindlicher Zähne.
Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 76, 689-691 (1966).

42. Murthy, K.S., S.T.Talim and I.Singh : A comparative evaluation of topical application and iontophoresis of sodium fluoride for desensitization of hypersensitive dentin.
Oral Surg. 36, 448-458 (1973).

43. Rautiola, C.A. : Microhardness of cementum.
J.Periodont. 32, 113-123 (1961).

44. Rateitschak, K.H., H.H.Renggli und H.R.Mühlemann : Parodontologie.
2.Aufl. 1978 : Thieme Stuttgart.

45. Renggli, H.H. : Cyanoakrylate in der Zahnheilkunde.
Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 79, 981-989 (1969).

46. Riethe, P., R.Schmelzle und N.Schwenzer : Arzneimitteltherapie in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde.
Stuttgart-New York : Thieme 1980.

47. Sall, D.H. : Technic for treating cervical sensitivity.
Dent.Surv. 50, 60-65 (1974).

48. Sauerwein, E. : Zahnerhaltungskunde.
3.Aufl. Stuttgart : Thieme 1976.

49. Schaeffer, M.L., D.Brixler and P.L.Yu : The effectiveness of iontophoresis in reducing cervical sensitivity.
J.Periodont. 42, 695-699 (1971).

50. Schmidt, H.F.M. und E.Seidel : Behandlung überempfindlicher Zahnhälse mit fluoridhaltigen Touchierungsmitteln.
Zahnärztl.Welt. 83, 786 (1974).

51. Schroeder, H.E. : Orale Strukturbiologie.
Stuttgart : Thieme 1976.

52. Schwartz, J. : The use of corticosteroids in reducing hypersensitivity in operative dentistry.
J.oral.Ther.Pharmacol. 3, 99-103 (1966).

53. Seidner, S. : Behandlung der Hyperästhesie der Zahnhälse mittels Fluor-Iontophorese.
Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 76, 859-860 (1966).

54. Simon, W.J. and L.B.Hilborn : Hypersensitive dentin.
Dent.Assist. 46, 16-17 (1977).

55. Shapiro, W.B., R.S.Kaslick and A.I.Chasens : The effect of a strontium chloride toothpaste on root hypersensitivity in a controlled clinical study.
J.Periodont. 41, 702-703 (1970).

56. Shapiro, W.B., R.S.Kaslick, A.I.Chasens and D.Weinstein : Controlled clinical comparison between a strontium chloride and a sodium monofluorophosphate toothpaste in diminishing root hypersensitivity.
J.Periodont. 41, 523-525 (1970).

57. Smith, B.A. and M.M.Ash : A study of a desensitizing dentifrice and cervical hypersensitivity.
J.Periodont. 35, 222-231 (1964).

58. Stazen, P.J. and D.W.Foreman : Diffusion of strontium desensitizing agents into human dentin as determined by energy-dispertive analysis.
J.dent.Res. 56, 28-35 (1977).

59. Tranter, T.C. and W.H.Douglas : Treatment of sensitive exposed root faces using acid etch technique.
Dent.Update 2, 177-180 (1975).

60. Tschamer, H. und H.R.Mühlemann : Die Rolle des Placebos bei der Beurteilung von Analgeticis durch Reizschwellenmessungen an der menschlichen Zahnpulpa.
Öst.Z.Stomat. 53, 313-319 (1956).

61. Unbekannter deutscher Autor : Arzneibuchlein wider allerlei Kranckeyten und gebrechen der Zeen.
Michael Blum, Leipzig 1530.

62. Walton, J.G. and J.W.Thompson : Pharmacology for the dental practitioner.
Brit.dent.J. 127, 472-476 (1969).

63. Zinner, D.D., L.F.Duany and H.J.Lutz : A new desensitizing dentifrice : A preliminary report.
J.Amer.dent.Ass. 95, 982-985 (1977).

An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof.Dr.Dr. Riethe für die Überlassung des Themas, seine freundliche und geduldige Betreuung sowie die zügige Durchsicht des Manuskripts meinen herzlichen Dank abstatten.
Mein Dank gebührt weiterhin Herrn Dipl.Math. Schubring vom Zentrum für Datenverarbeitung der Universität Tübingen für seine freundliche Hilfe bei der statistischen Auswertung der Messwerte und unseren Probanden für ihre pünktliche und selbstlose Mitarbeit.
Herrn Dipl.Ing. Sidharta danke ich für die Anfertigung der Zeichnungen.

LEBENSLAUF

Am 22. September 1954 wurde ich, Hendra Marganda Marsidi, als Sohn des Ehepaares Justi Kirana Marsidi und Surjatina, geb. Souw, in Jakarta (Indonesien) geboren.
Von 1960 bis 1966 besuchte ich in Jakarta die sechsjährige Grundschule (Sekolah Dasar) und von 1966 bis 1969 die dreijährige mittlere Schule (Sekolah Lanjutan Pertama). Anschliessend besuchte ich die dreijährige Oberschule (Sekolah Lanjutan Atas), Abteilung Naturwissenschaften und Mathematik, ebenfalls in Jakarta.
Im Dezember 1972 legte ich die Reifeprüfung mit Erfolg ab.
Im März 1973 begann ich an der Universität Trisakti in Jakarta das Studium der Zahnheilkunde.
Im März 1975 unterzog ich mich der Prüfung zur Feststellung der Hochschulreife ausländischer Studierender in Tübingen und bestand diese.
Im Sommersemester 1975 nahm ich an der Eberhard-Karls-Universität Tübingen das Zahnmedizinstudium wieder auf, wo ich es nach bestandener naturwissenschaftlicher Vorprüfung im März 1976 und zahnärztlicher Vorprüfung im November 1977 mit dem Staatsexamen am 25. Juni 1980 abschloss.